



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

# **Estimación de coeficientes de desagüe en sumidero, asumiendo el funcionamiento como vertedero**

**Jaume Pedro Bandrés i Pons**

Dirigit per:

**Manuel Gómez Valentín**

Grau en:

**Enginyeria Civil**

Barcelona, 22 de setembre de 2017

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental (DECA)

**TREBALL FINAL DE GRAU**

## Índice

Abstract.....	7
Resumen .....	7
1. Introducción .....	8
2. Objetivos .....	9
2.1. Objetivos generales.....	9
2.2. Objetivos específicos .....	9
3. Antecedentes de estudio .....	10
3.1. Explicación teórica del funcionamiento de un vertedero.....	10
3.2. Flujo espacialmente variado por disminución de caudal .....	14
3.2.1. Modelo físico del SVF.....	14
3.3. Estudios previos de cálculos de coeficientes de descarga en imbornales .....	15
3.3.1. Teoría de Mostkow (1957) .....	15
3.3.2. Subramanya i Sengrupta (1981) .....	16
3.3.3. Kumar (2009) .....	18
4. Metodología empleada para obtención de los coeficientes .....	19
4.1. Estudio experimental .....	19
4.2. Rejas de estudio .....	19
4.2.1. Reja “Barcelonal” .....	20
4.2.2. Reja “E-25”.....	20
4.2.3. Reja “Meridiana” .....	21
4.3. Cálculo teórico .....	21
5. Desarrollo y análisis de los resultados .....	24
5.1. Reja “Barcelonal” .....	24
5.1.1. Análisis preliminar .....	24
5.1.2. Análisis de resultados .....	25

5.2. Reja “E-25” .....	31
5.3. Reja “Meridiana” .....	36
6. Conclusiones .....	41
7. Referencias .....	43
Anexo: Tablas con los datos completos .....	44

## Índice de Figuras

Figura 1. Partes de un vertedero convencional.....	10
Figura 2. Flujo que pasa por un vertedero sin tener en cuenta las pérdidas de energía..	11
Figura 3. Flujo que pasa un vertedero teniendo en cuenta las pérdidas. ....	12
Figura 4. Sección característica de un vertedero triangular.....	13
Figura 5. Partes de un vertedero de pared curva de perfil estricto (Creager). ....	13
Figura 6. Representación diédrica de la reja “Barcelona1”.....	20
Figura 7. Representación diédrica de la reja “E-25”. ....	20
Figura 8. Representación diédrica de la reja “Meridiana”.....	21
Figura 9. Diferentes longitudes de reja de estudio. ....	22
Figura 10. Relación entre los coeficientes de desagüe y el número de Froude.....	26
Figura 11. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 200 l/s. ....	27
Figura 12. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 150 l/s ....	27
Figura 13. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 100 l/s ....	28
Figura 14. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 50 l/s ....	28
Figura 15. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 25 l/s ....	29
Figura 16. Relación acotada entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s.....	30
Figura 17. Relación lineal entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude sin pendiente transversal. ....	30

Figura 18. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales inferiores a 100 l/s.....	31
Figura 19. Relación entre los coeficientes de desagüe y su número de Froude .....	31
Figura 20. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 200 l/s .....	32
Figura 21. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 150 l/s .....	32
Figura 22. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 100 l/s .....	33
Figura 23. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 50 l/s .....	33
Figura 24. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 25 l/s .....	34
Figura 25. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s (pendientes de 0% i 0,5% incluidas). ....	35
Figura 26. Relación acotada entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s. (pendientes de 0% i 0,5% no incluidas). ....	35
Figura 27. Relación lineal entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude sin pendiente transversal. ....	36
Figura 28. Relación entre los coeficientes de desagüe y su número de Froude .....	36
Figura 29. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 200 l/s .....	37

Figura 30. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 150 l/s .....	37
Figura 31. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 100 l/s .....	38
Figura 32. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 50 l/s .....	38
Figura 33 Relación acotada entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s. (pendientes de 0% i 0,5% no incluidas). ....	39
Figura 34. Relación lineal entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude sin pendiente transversal. ....	40

## Índice de Tablas

Tabla 1. Datos característicos de la reja “Barcelona1” .....	20
Tabla 2. Datos característicos de la reja "E-25". ....	21
Tabla 3. Datos característicos de la reja “Meridiana”. ....	21
Tabla 4. Valores referentes a la reja Barcelona1 con calado en el borde exterior.....	46
Tabla 5. Valores referentes a la reja Barcelona1 con calado medio.....	49
Tabla 6. Valores referentes a la reja E-25 con calado en el borde exterior. ....	52
Tabla 7. Valores referentes a la reja E-25 con calado medio. ....	55
Tabla 8. Valores referents a la reja Meridiana con calado en el borde exterior. ....	58
Tabla 9. Valores referentes a la reja Meridiana con calado medio.....	61

## **Abstract**

The proper functioning of the wastewater collection system is really important in urban areas in order to avoid, mainly, floods or problems related to rainwater runoff. Knowing exactly how the sinks work and behave has been one of the main objectives in the field of surface hydrology in recent years. Therefore, a good mathematical modelling of these elements would help to avoid these problems. In this project, we will try to verify if the sinks can behave like a weir, looking for the coefficients of drainage that characterize them.

## **Resumen**

El buen funcionamiento del sistema de recogida de aguas residuales es de suma importancia en las vías urbanas para evitar, principalmente, inundaciones o problemas relacionados con el agua de escorrentía de la lluvia. Conocer con exactitud cómo funcionan y se comportan los sumideros ha sido uno de los principales objetivos en el campo de la hidrología superficial en los últimos años. Por lo tanto, una buena modelización matemática de estos elementos sería de gran ayuda a la hora de evitar estos problemas. En este proyecto, se tratará de comprobar si los imbornales se pueden comportar como un vertedero hidráulico, principalmente buscando los coeficientes de desagüe que los caracterizan.

## 1. Introducción

Una relativamente reciente línea de estudio acerca de los sumideros urbanos en relación a los problemas relacionados con inundaciones o el malfuncionamiento de los mismos ha suscitado el planteamiento de este trabajo. En los últimos años se ha intentado caracterizar estos sumideros como otras formas de desagüe y, concretamente, con este proyecto buscamos analizar el comportamiento de éstos como vertederos.

Así, no se pretende hacer un análisis experimental para ver la captación del agua en el laboratorio, dado que se partirá de uno de estos estudios previamente señalados. Este estudio en concreto realiza diversas pruebas con caudales y pendientes diferentes con el objetivo de observar si un sumidero actúa como un agujero. A partir de sus datos experimentales, realizaremos nuestros propios cálculos en relación al vertedero a través de la obtención de unos determinados coeficientes de desagüe.

El trabajo se desarrolla, en primer lugar, a partir de la fijación de unos objetivos generales y específicos. Además, es necesario contar con unos antecedentes no sólo respectivos a teoremas matemáticos, sino también con los estudios experimentales de los que hemos hablado anteriormente. De esta manera, podemos plantear los cálculos matemáticos con una base sólida y desarrollar una metodología efectiva. Principalmente, intentaremos buscar una relación con el número de Froude o con otros valores hidráulicos, como ya se explicará a continuación en este estudio.

Finalmente, con los coeficientes obtenidos pretendemos ver si éstos pueden aplicarse a la caracterización del sumidero como un vertedero y, así, averiguar qué método describe mejor la entrada de agua desde la calle al alcantarillado.

Hay que hacer mención a la terminología que emplearemos durante el trabajo. Tradicionalmente, para un vertedero convencional el coeficiente de desagüe ( $\mu$ ) viene acompañado de un valor constante  $\frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot g}$ . Para simplificar cálculos, este valor lo introduciremos dentro de una variable global,  $C_d$ , que será el coeficiente que estimaremos. En todo momento, para no crear confusión, mencionaremos el coeficiente del cual estamos hablando.



## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivos generales**

Uno de los objetivos generales de este trabajo es el estudio de un aspecto concreto del campo de la hidrología superficial. Más concretamente, el análisis del desagüe de las escorrentías urbanas del agua de la lluvia a través de los sumideros.

Otro de los objetivos principales es la observación del posible comportamiento de un sumidero como un vertedero o aliviadero. Mientras que un sumidero es un conducto por el cual se desaguan las aguas pluviales a través de un orificio, un vertedero es un dispositivo que colocado en una sección del flujo, lo desajusta entre aguas arriba y aguas abajo mediante un obstáculo, por encima del cual pasa el agua.

Las expresiones que caracterizan el vertedero se aplicarán al concepto de sumidero para ver si se desarrollan de un modo similar. Partiremos de la base de que el coeficiente de desagüe  $\mu$  de un vertedero se aproxima a valores de 0'6.

### **2.2. Objetivos específicos**

Respecto a las especificidades que caracterizan este trabajo, cabe destacar el análisis del posible comportamiento de un sumidero como un vertedero a través de la observación de tres tipos distintas de rejillas: "Barcelona 1", "Meridiana" y "E-25".

Otro objetivo específico será el de buscar una relación hidráulica que pueda explicar el comportamiento de un sumidero como vertedero, anteriormente explicado.

Finalmente, pretendemos descubrir si un método de desagüe describe mejor la entrada de agua desde la calle al alcantarillado o si todos los métodos son válidos igualmente.

### 3. Antecedentes de estudio

#### 3.1. Explicación teórica del funcionamiento de un vertedero

El vertedero hidráulico, también llamado aliviadero, consiste en una estructura que colocada en una sección del flujo del agua crea un desajuste aguas arriba y aguas abajo de las mismas.

El caudal saliente del vertedero se da en función de la altura ( $h$ ) del agua desde la cresta o umbral del vertedero hasta la lámina libre. Así, también encontraremos distintos tipos de vertederos según el grosor ( $e$ ) de su pared: pared delgada ( $e/h < 0'7$ ), gruesa ( $e/h > 0'7$ ) o curva de perfil estricto (variable de la pared delgada).

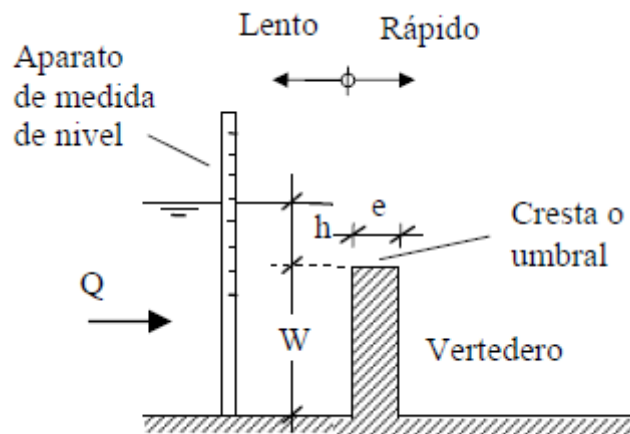


Figura 1. Partes de un vertedero convencional.

Comentaremos los diferentes tipos de vertedero según su forma o sección, aunque el nuestro es un caso particular que no sigue ninguno de los modelos comentados a continuación.

- El vertedero de sección rectangular:

Sabemos que la ecuación del caudal que circula por estos dispositivos es función de  $h$ . Dicha ecuación se calcula de la siguiente manera.

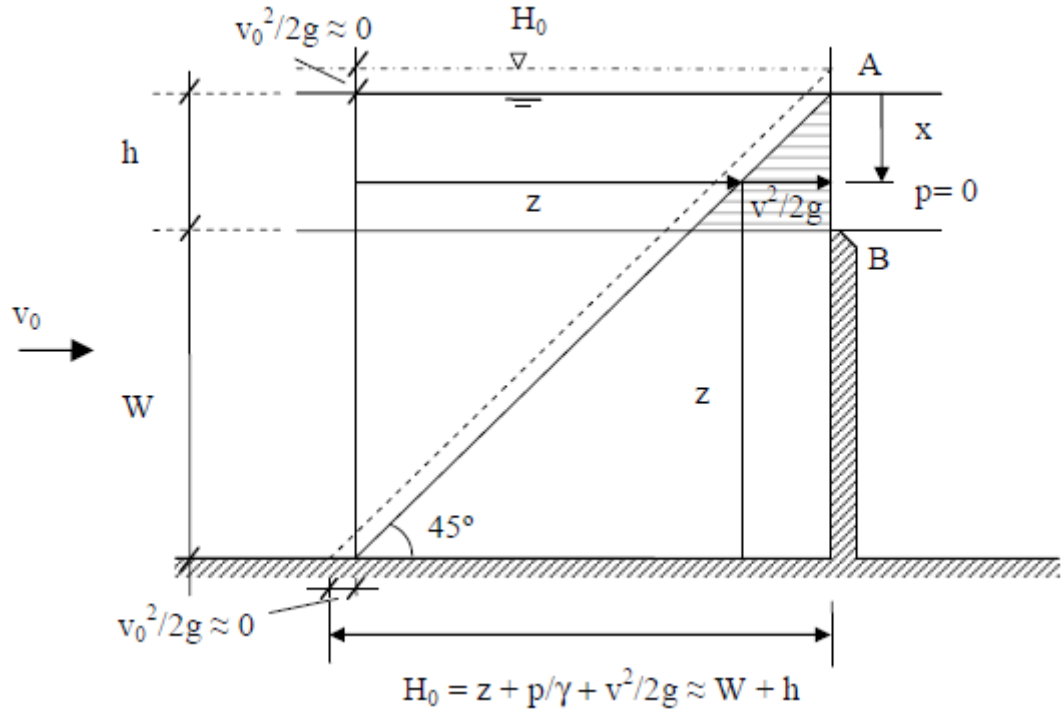


Figura 2. Flujo que pasa por un vertedero sin tener en cuenta las pérdidas de energía.

A una profundidad  $x$  de la sección AB se obtiene:

$$H_0 = z + \frac{p}{\gamma} + v^2/2g$$

Considerando las pérdidas de energía localizadas ( $\Delta H_{0loc}$ ), el término  $\frac{p}{\gamma}$  en la sección AB y el valor  $v_0^2/2g$  nulos, obtenemos:

$$\frac{Q}{L} = q = \int_s v dS = \int_0^h \sqrt{2g} \cdot x^{\frac{1}{2}} dx = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Realmente existe una contracción en la lámina libre que hace que  $p$  sea diferente a cero y que tanto la sección AB como el valor de  $v^2/2g$  disminuyan. Además, las pérdidas de carga y el término  $v_0^2/2g$  tampoco serán nulos. De esta manera, tenemos que ajustar la ecuación añadiéndole un factor de corrección, el coeficiente de desagüe, protagonista principal de esta tesis.

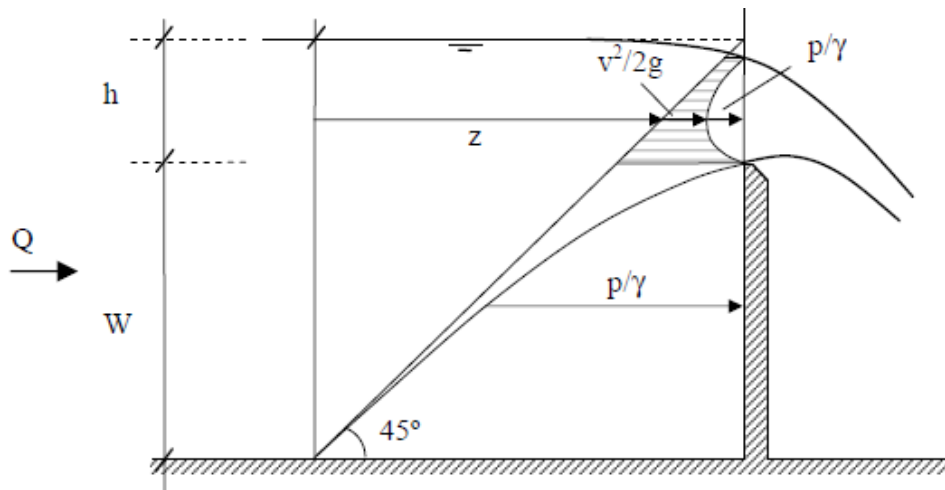


Figura 3. Flujo que pasa un vertedero teniendo en cuenta las pérdidas.

Este valor se obtiene de manera experimental. Generalmente, en vertederos convencionales de pared delgada, en los casos en los que el cociente  $h/W$  sea inferior a 5 se usa la fórmula  $\mu = 0.611 + 0.08 \cdot h/W$  y resulta próximo a un valor de 0,61 cuando  $h$  es muy inferior a  $W$ .

Cuando nos encontramos en vertederos de pared gruesa el cálculo de este valor varía sustancialmente. El grosor del vertedero en estos casos es lo suficientemente ancho para que se forme el calado crítico en su cresta o umbral.

$$q = \sqrt{g} \cdot y_c^{3/2}; y_c = \frac{2}{3} \cdot H \approx \frac{2}{3} \cdot h \rightarrow q = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot h^{3/2}$$

Realizando una comparación con el de pared delgada, aparece el factor reductor  $\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577$ , menor al 0,61, que implica que tenga una menor capacidad de desagüe. Como en el caso anterior tenemos que seguir introduciendo el coeficiente de desagüe quedando de esta manera una ecuación análoga al anterior. Este tipo de vertederos se usa principalmente para medir el caudal de ríos y presas de coronación, ya que su estructura es más resistente que la del vertedero de pared delgada.

- El vertedero de sección triangular:

Este tipo de vertedero se usa principalmente para flujos de caudal bajo, ya que las variaciones de calado se pueden apreciar más significativamente.

$$q = \int_S v dS = \int_0^h \sqrt{2g} \cdot x^{\frac{1}{2}} \cdot 2(h-x) \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) dx = Cte \cdot \int_0^h \left(x^{\frac{3}{2}} - x^{\frac{1}{2}} \cdot h\right) dx$$

$$q = Cd \cdot h^{\frac{5}{3}} = \frac{18}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \mu \cdot h^{\frac{5}{3}}$$

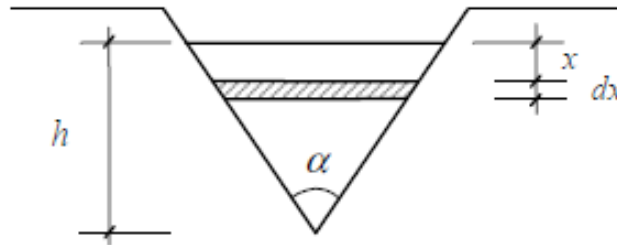


Figura 4. Sección característica de un vertedero triangular

- El vertedero de pared curva de perfil estricto (Creager)

Para terminar este apartado clasificatorio, encontramos el caso más usado como aliviadero de crecidas en presas de gravedad. Se caracteriza por tener en su parte inicial una estructura que se asemeja a la lámina aguas abajo de un vertedero de pared delgada, denominada perfil Creager que se ajusta al caudal de diseño de la presa. A continuación, hay un talud de pendiente constante. I, finalmente, la estructura de disipación de energía que puede ser tanto un trampolín como un cuenco amortiguador.

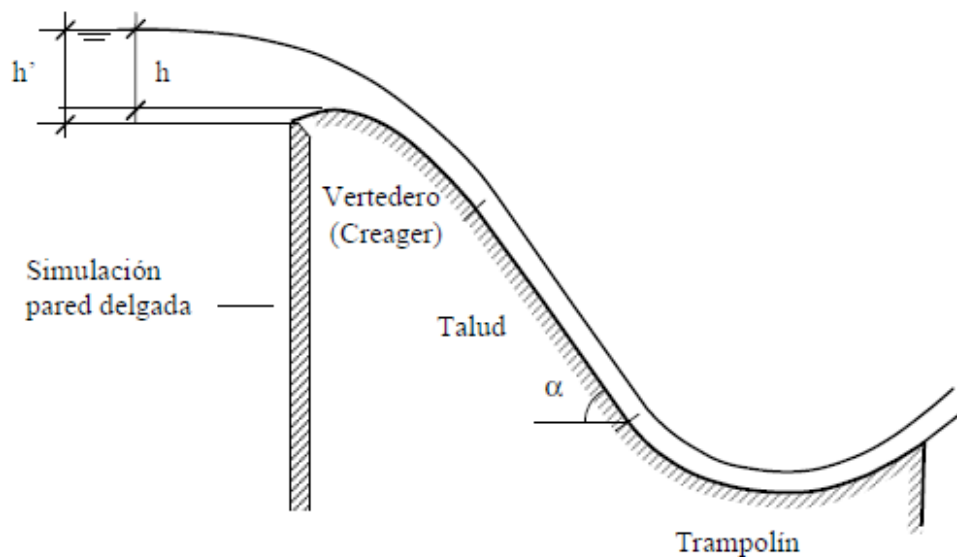


Figura 5. Partes de un vertedero de pared curva de perfil estricto (Creager).

La ecuación de desagüe es exactamente igual a la de un vertedero de pared delgada, anteriormente comentada. Rigurosamente, la altura de agua empleada en la ecuación debería ser  $h'$ , como podemos observar en la figura, pero esta diferencia ya está contemplada dentro del coeficiente de desagüe.

En consecuencia a todo lo comentado anteriormente, utilizaremos las fórmulas que rigen los vertederos de sección rectangular puesto que son las que se podrían asemejar más a nuestro caso. Esto es debido a que la geometría de la reja en cuestión no sigue las características de un vertedero habitual: en nuestro caso no existe la pared del vertedero como tal y la geometría en planta no corresponde a una dimensión sino a dos, por lo que se entiende que el caudal se desagua en dos direcciones.

### **3.2. Flujo espacialmente variado por disminución de caudal**

Partiendo de un canal abierto con un flujo permanente al que se le puede añadir o extraer agua, nos encontramos ante el denominado flujo espacialmente variado (SVF). Estas agregaciones o extracciones pueden darse a través de aliviaderos laterales.

Es importante resaltar este fenómeno dado que es aplicable a los flujos de los imbornales, especialmente en las redes urbanas de alcantarillado cuando es necesario mantener un buen sistema de drenaje de las aguas y de captación de las rejillas o en instalaciones hidroeléctricas.

En el caso de las rejillas de fondo esta extracción de caudal realizada por la inexistencia de un obstáculo provoca que las pérdidas energéticas sean mínimas, las cuales las podemos asimilar como nulas.

#### **3.2.1. Modelo físico del SVF**

Previamente a la formulación de la ley física que caracteriza el flujo espacialmente variado por reducción de caudal, debemos considerar ciertas hipótesis:

- La distribución de presión se considera hidrostática, ya que nos encontramos en un flujo gradualmente variado con una curvatura de la lámina libre suave.

- Las pérdidas producidas por la fricción con el suelo se describen mediante la fórmula de Manning.
- Las características del movimiento de cualquier sección de agua no dependen del tiempo (flujo estacionario).
- El canal se caracteriza por tener una forma prismática con una pendiente constante.

La energía en una sección dada se define mediante la ley de Bernoulli:

$$H = z + y + \alpha \frac{v^2}{2g} = z + y + \alpha \frac{Q^2}{2g \cdot S^2}$$

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dz}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{d}{dx} \left( \alpha \frac{Q^2}{2g \cdot S^2} \right)$$

$$-I = -i + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left( \frac{2Q}{A^2} \frac{dQ}{dx} - \frac{2Q^2}{A^3} \frac{dA}{dx} \right)$$

Arreglando y aislando la ecuación obtenemos la variación diferencial del calado de un flujo espacialmente variado:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{i - I - \frac{\alpha Q q'}{g A^2}}{1 - \frac{\alpha Q T}{g A^2}}$$

Donde:

$$q' = \frac{dQ}{dx}; T = \frac{dA}{dy}$$

### **3.3. Estudios previos de cálculos de coeficientes de descarga en imbornales**

#### **3.3.1. Teoría de Mostkow (1957)**

Mosktow trató de elaborar las ecuaciones necesarias para determinar el perfil de la lámina libre del flujo que circula por un sumidero.

En esta teoría se considera la reja de fondo como un orificio. Las hipótesis que rigen su teoría para una reja de barras longitudinales son las siguientes:

- La morfología del canal tiene que ser rectangular y prismática.

- Nos encontramos en un régimen turbulento, es decir, el coeficiente de coriolis es igual a uno.
- La energía específica se considera constante ( $H_o$ )

El flujo por unidad de longitud de la reja considerándola un orificio se describe de la siguiente manera:

$$\left(-\frac{dQ}{dx}\right) = C_1 \varepsilon B \sqrt{2gH_o}$$

Considerando el caudal total a lo largo de la reja:

$$Q = C_1 \varepsilon B L \sqrt{2gH_o}$$

El término  $C_1$  es el coeficiente de desagüe. La teoría de Mostkow dice que éste depende de las características hidráulicas del flujo de aproximación y de la geometría de la reja (longitud, pendiente y orientación respecto al flujo) y de sus barras (forma, tamaño y espaciamiento).

Al considerar la energía específica en cada sección constante, el caudal que se obtiene viene determinado por:

$$H_o = y + \frac{Q^2}{2gb^2y^2} \rightarrow Q = by\sqrt{2g(H_o - y)}$$

Substituyendo este caudal en la ecuación del flujo espacialmente variado de un canal prismático y rectangular, nos queda la siguiente expresión:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2\varepsilon C_1 \sqrt{H_o(H_o - y)}}{3y - 2H_o}$$

### 3.3.2. Subramanya i Sengrupta (1981)

Subramanya y Sengupta demostraron que el coeficiente de desagüe de una reja de fondo es función del tipo de flujo, del cociente entre el diámetro de las barras ( $D$ ) y su espaciado ( $s$ ), de la pendiente longitudinal de la reja ( $S_l$ ) y de un parámetro del flujo ( $\eta_e$ )



$$Cd = f\left(\frac{D}{S}, S_l, \eta_e, \text{tipo de flujo}\right)$$

$$\eta_e = \frac{v_o^2}{2gHo}$$

En su teoría diferenciaron 5 situaciones diferentes para calcular el coeficiente de desagüe

Cuando la reja está inclinada:

- Corrientes subcríticas de llegada, supercríticas sobre la reja y, finalmente, con un posible salto hidráulico aguas abajo de la misma:

$$Cd = 0.53 + 0.4 \log\left(\frac{D}{S}\right) - 0.61S_l$$

- Corrientes supercríticas de llegada y sobre la reja y con un posible salto hidráulico aguas abajo de la reja:

$$Cd = 0.39 + 0.27 \log\left(\frac{D}{S}\right) - 0.8 \cdot \eta_e \cdot 0.5 \cdot \log(S_l)$$

Cuando la reja no tiene inclinación:

- Corrientes subcríticas de llegada, supercríticas sobre la reja y con un posible salto hidráulico aguas abajo:

$$Cd = 0.601 + 0.2 \log\left(\frac{D}{S}\right) - 0.257\eta_e$$

- Corrientes subcríticas en todas las secciones:

$$Cd = 0.752 + 0.28 \log\left(\frac{D}{S}\right) - 0.565\eta_e$$

- Corrientes supercríticas de llegada y sobre el paso encima de la reja. Salto hidráulico aguas abajo:

$$Cd = 1.115 + 0.36 \log\left(\frac{D}{S}\right) - 1.984\eta_e$$

### 3.3.3. Kumar (2009)

Kumar realizó su teoría experimental en base a la que formuló Mostkow en 1957. Su trabajo tenía como objetivo estudiar las características del flujo que circula por una reja de fondo de barras planas, por un canal de sección rectangular.

A raíz de los resultados obtenidos, Kumar pudo deducir que el coeficiente de desagüe de la reja de fondo se reducía a medida que la pendiente de la reja, el espaciado entre barras, la energía específica y el número de Reynolds crecían.

También observó que el coeficiente aumentaba cuando el ancho de las barras planas crecía hasta 0.026 metros. A partir de este valor, el coeficiente descendía a consecuencia de la pérdida de energía por la fricción.

Con los datos experimentales que obtuvo de su trabajo, pudo llegar a formular una ecuación, en la cual intervienen el espaciado entre barras contiguas ( $s$ ), el ancho ( $b$ ) y espesor de las barras ( $e$ ) y la pendiente de la reja ( $i$ ).

$$Cd = 0.471 - 0.124 \cdot \ln\left(\frac{s}{e}\right) - 0.194 \cdot i - 0.01 \left(\frac{b}{e}\right)$$

## **4. Metodología empleada para obtención de los coeficientes**

### **4.1. Estudio experimental**

Para obtener los coeficientes de desagüe es necesario el calado aguas arriba del imbornal. Estos calados se encuentran mediante un experimento que consiste en lo siguiente. En primer lugar, es necesario contar con una plataforma hidráulica de ensayos, como la disponible en el laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos de Barcelona donde se ubica una reja de desagüe, ensayándose a escala real o 1:1. Se vierte el agua sobre la plataforma, la cual puede variar su pendiente de forma longitudinal y transversal (para caracterizar las posibles pendientes que puede tener una calle), de manera que el agua fluye por la misma. En este caso, el caudal que se ha vertido varía entre 25 y 200 litros por segundo.

El agua que es captada por el sumidero se recoge en una cubeta que presenta un vertedero triangular pudiendo, así, calcular el caudal interceptado. La altura de agua sobre el vertedero se mide con limnómetro de precisión 0.1 mm.

Se calcula el calado aguas arriba con una regla metálica en el borde izquierdo de la plataforma para poder usarlo en las expresiones aplicadas al vertedero y encontrar los coeficientes de desagüe. Este mismo procedimiento se usa en los tres tipos de rejas.

### **4.2. Rejas de estudio**

En este apartado nos disponemos a comentar las características de las rejas que hemos empleado para la obtención de los coeficientes de desagüe.

#### 4.2.1. Reja “Barcelona1”

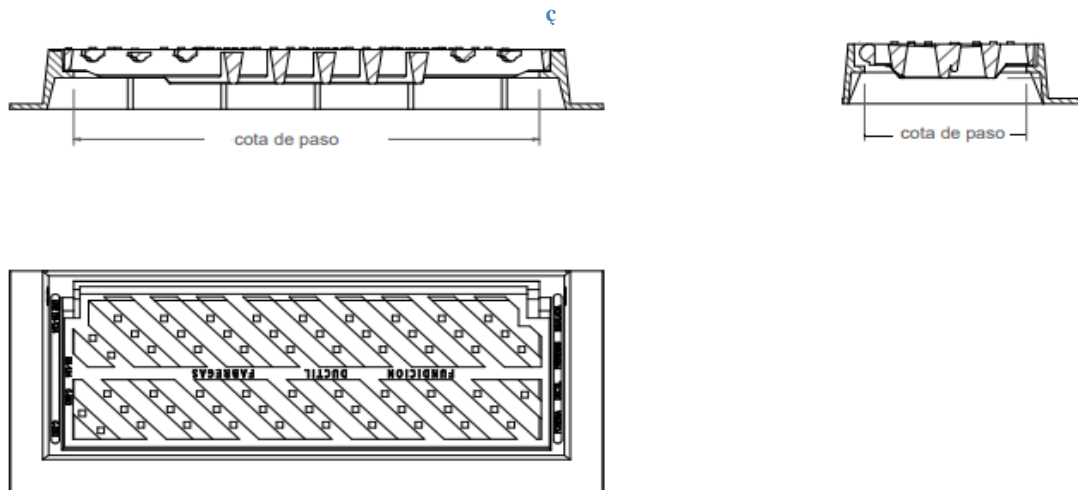


Figura 6. Representación diédrica de la reja “Barcelona1”.

Área que contiene los huecos	Área huecos	Longitud	Ancho	Nº de barras longitudinales	Nº de barras transversales	Nº de barras diagonales
0.1611 m <sup>2</sup>	0.1008 m <sup>2</sup>	0.7123 m	0.2261 m	1	0	20

Tabla 1. Datos característicos de la reja “Barcelona1”

Como podemos ver en la figura superior, la longitud y ancho usados para el cálculo de los coeficientes son los lados del rectángulo en los cuales se ubican los huecos.

#### 4.2.2. Reja “E-25”

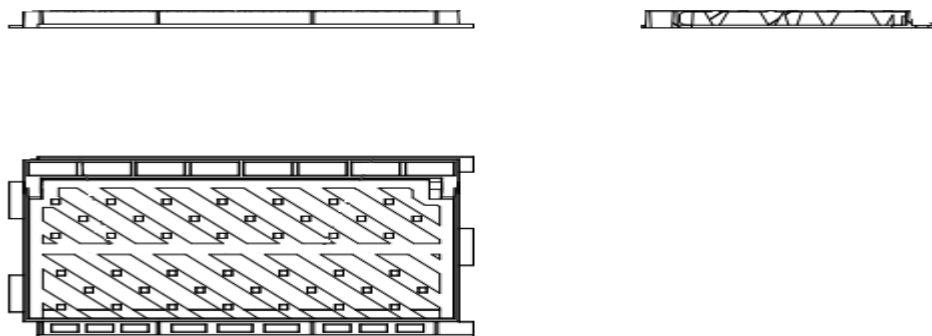


Figura 7. Representación diédrica de la reja “E-25”.

Área que contiene los huecos	Área huecos	Longitud	Ancho	Nº de barras longitudinales	Nº de barras transversales	Nº de barras diagonales
0.1368 m <sup>2</sup>	0.0754 m <sup>2</sup>	0.65 m	0.35 m	1	0	18

Tabla 2. Datos característicos de la reja "E-25".

#### 4.2.3. Reja “Meridiana”

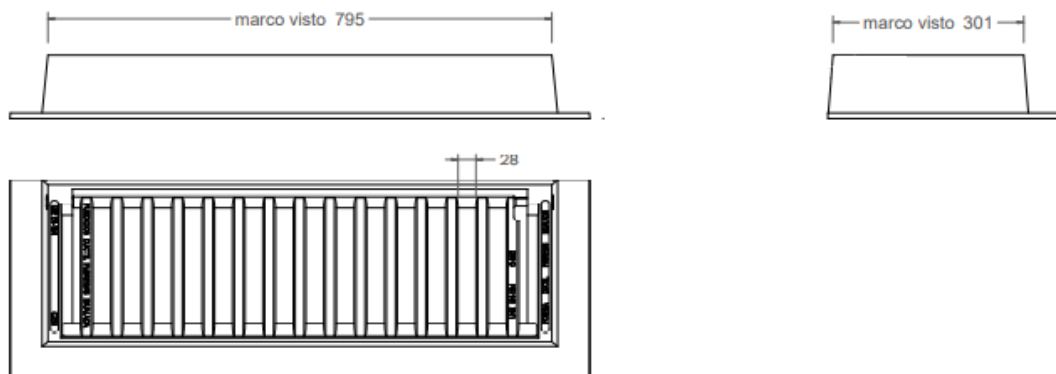


Figura 8. Representación diédrica de la reja “Meridiana”.

Área que contiene los huecos	Área huecos	Longitud	Ancho	Nº de barras longitudinales	Nº de barras transversales	Nº de barras diagonales
0.161 m <sup>2</sup>	0.0736 m <sup>2</sup>	0.795 m	0.3 m	0	15	0

Tabla 3. Datos característicos de la reja “Meridiana”.

#### 4.3. Cálculo teórico

Para empezar, los datos necesarios para realizar nuestro estudio son el caudal de paso por la plataforma y el caudal interceptado por la reja, las pendientes longitudinales y transversales y el calado de aguas arriba de la reja

A través de la fórmula para calcular el caudal que se desagua en un vertedero, podemos encontrar los diferentes coeficientes ( $Cd$ ) ya que las demás variables son sabidas o han sido encontradas durante el estudio experimental

Antes de empezar a buscar estos coeficientes, tenemos que definir ciertas variables de dicha ecuación para poder introducir los caudales de estudio.

$$Q_c = Cd \cdot L' \cdot y^{3/2}$$

En primer lugar, la longitud de la reja ( $L'$ ) por donde desagua el caudal vertido. La reja está situada en los lados de la calzada o en nuestro caso de la plataforma del laboratorio. Esto hace que observando esta posición tengamos tres diferentes longitudes posibles a utilizar: la suma de los tres lados expuestos de la reja, el lado superior más el lateral y por último, solamente el lado superior.

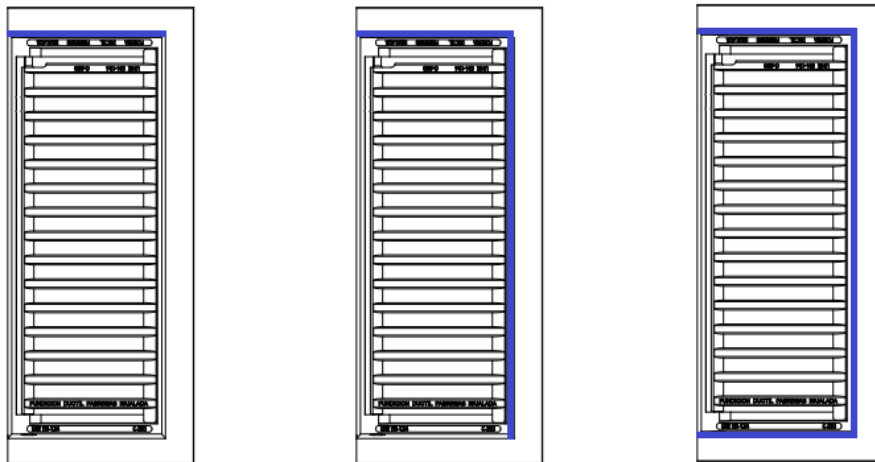


Figura 9. Diferentes longitudes de reja de estudio.

En estudios anteriores, se ha observado que posicionando la reja como en nuestro estudio el agua captada por el sumidero proviene en un 80% del lado superior de la reja, debido a la unidireccionalidad del flujo, y en un porcentaje inferior al 20% por los otros dos lados, siempre y cuando la pendiente longitudinal y el caudal superficial sean bajos ya que en estos casos este flujo unidireccional no está muy bien definido.

En segundo lugar, tendremos que determinar el calado aguas arriba de la reja para ver si la selección de un calado u otro es significativa en la obtención de los coeficientes de desagüe. En este caso los calados más característicos que usaremos son el calado justo en el vértice superior izquierdo de la reja y el calado medio, situado en el punto medio del lado superior.

Una vez determinadas todas las variables que intervienen en la ecuación y sus diferentes opciones, calcularemos sus respectivos coeficientes para observar cuales se ajustan más o si existe una diferencia notable en el caso de la elección de una u otra variable.

## **5. Desarrollo y análisis de los resultados**

### **5.1. Reja “Barcelona1”**

#### **5.1.1. Análisis preliminar**

Como bien se ha comentado anteriormente, nuestro objetivo es buscar los coeficientes de desagüe mediante un comportamiento de vertedero para ver si esto define alguna pauta o norma marcada.

Primeramente, buscamos dichos coeficientes con la fórmula previamente descrita usando las tres longitudes de reja que queremos discutir, como también la diferenciación de los dos calados aguas arriba: el calado en el vértice superior izquierdo de la reja y el calado medio. Por lo tanto, obtendremos seis diferentes tipos de coeficientes de desagüe.

Empezaremos cogiendo el calado en el extremo superior izquierdo aguas arriba de la reja. En la primera longitud, teniendo en consideración la suma del perímetro expuesto de la reja (1,1645 metros), obtenemos unos coeficientes de valor medio 1,1327 sin distinguir ni en que situaciones la reja se cubre por completo ni diferenciando caudales y pendientes.

Realizando el mismo procedimiento con la segunda y tercera longitud (0.9384 y 0.2261 metros) obtenemos valores promedio de 1,4057 y 5.8341 respectivamente.

En esta primera aproximación, podemos observar que estos valores se alejan bastante de los que se toman habitualmente en vertederos convencionales, los cuales se encuentran entre el 2 y el 4.

Llegados a este punto, nos disponemos a realizar las mismas operaciones anteriores pero esta vez con el calado medio aguas arriba de la reja.

En este paso vemos que los valores de los coeficientes de desagüe son prácticamente los mismos que si usáramos el calado en el borde exterior. De esta manera, cerramos la cuestión de que calado debemos emplear para la caracterización de la reja, cogiendo a partir de ahora el más representativo y de fácil obtención, es decir, el del borde exterior de la calzada.



Por lo que respecta a la elección de la longitud de la reja, en condiciones generales el agua puede entrar por los tres lados de la reja. En el anexo se encuentran los diferentes coeficientes de desagüe respecto las tres longitudes posibles. Descartamos los coeficientes calculados a partir de la longitud del borde superior, ya que nos da valores muy altos y diferentes a las otras dos longitudes de reja. El coeficiente que sale con las dos otras longitudes es muy parecido entre si, por lo que decidimos mantener el criterio de coger el perímetro expuesto de la reja.

### 5.1.2. Análisis de resultados

Después de realizar el análisis previo donde decidimos qué longitud de reja y calado aguas arriba debemos coger para el cálculo de coeficientes, nos disponemos a realizar un estudio más detallado y minucioso ya que hasta ahora solamente lo hemos hecho a grandes rasgos.

Como se ha comentado, uno de los objetivos específicos de este ensayo es intentar buscar una relación entre los coeficientes de desagüe encontrados y algún valor hidráulico representativo, de los cuáles el número de Froude sería idóneo en esta relación por su adimensionalidad.

Este valor nos relaciona las fuerzas de inercia y las de gravedad que actúan en un fluido

$$Fr = \frac{F.inercia}{F.gravedad} = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y_m}}$$

donde:

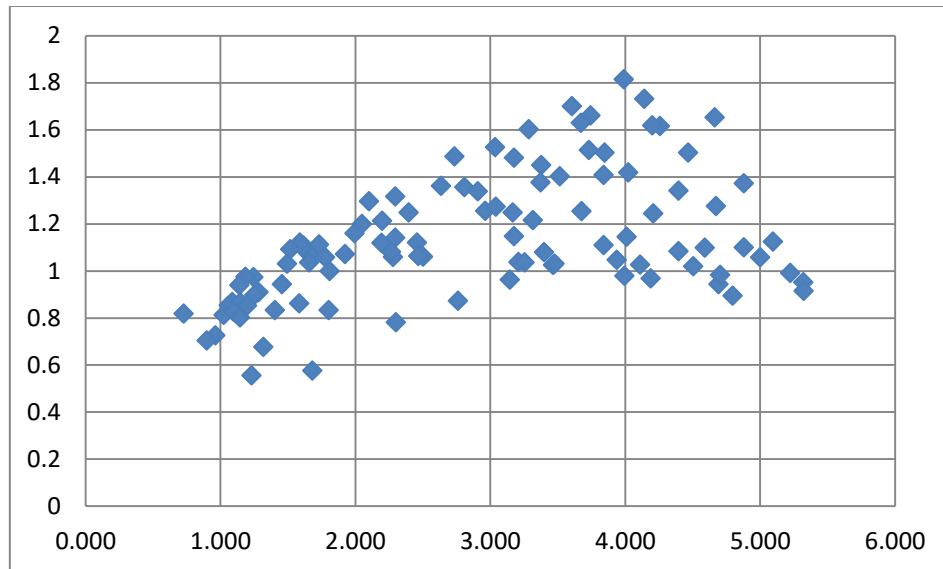
- $v$ : velocidad del fluido
- $y_m = \frac{S}{B}$ : relación entre la superficie de la sección aguas arriba de la reja y su ancho.

También nos permite realizar una clasificación del fluido en función del resultado obtenido:

1. Régimen crítico: cuando el número de Froude es 1.
2. Régimen lento: en el caso que  $Fr < 1$ .
3. Régimen rápido: en el caso que  $Fr > 1$ .

A continuación, para calcular los correspondientes números de Froude para cada uno de los coeficientes encontrados anteriormente, solamente nos faltará hallar la velocidad del agua, a partir del caudal interceptado por el sumidero:

$$v = \frac{Q_c}{S}$$



**Figura 10. Relación entre los coeficientes de desagüe y el número de Froude**

Cabe destacar que una vez hemos calculado el número de Froude, vemos que en todo momento nos encontramos en un régimen supercrítico o rápido, en cualquiera de las diferentes situaciones de caudal y pendiente de estudio.

Como se puede observar en el gráfico anterior, a primera vista no se ve ninguna relación pautada de los coeficientes de desagüe de un sumidero en relación con el número de Froude. Esto es debido a que no realizamos ninguna distinción con los diferentes caudales superficiales y pendientes transversal y longitudinal, ni tampoco teniendo en cuenta si la reja está cubierta totalmente o no por el agua.

Por lo tanto, para poder seguir, debemos especificar cuáles son los coeficientes que han sido calculados con el sumidero totalmente cubierto por el fluido, ya que, estos casos serán los que realmente traigan problemas en el desagüe de la escorrentía superficial.

También tendremos que separar los caudales, como observaremos a continuación, ya que, como hemos visto en el gráfico anterior, ubicándolos todos en un mismo saco no podemos sacar ninguna conclusión concreta.

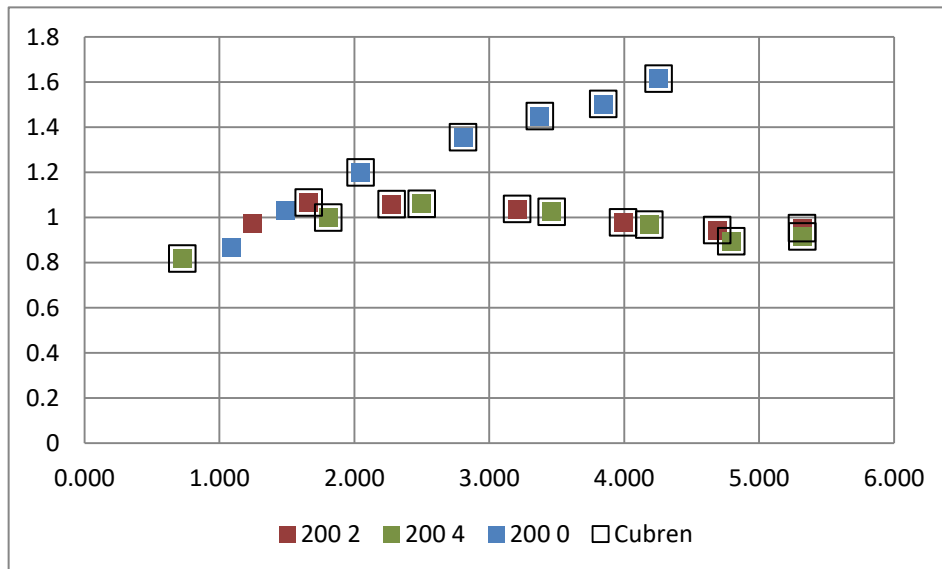


Figura 11. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 200 l/s.

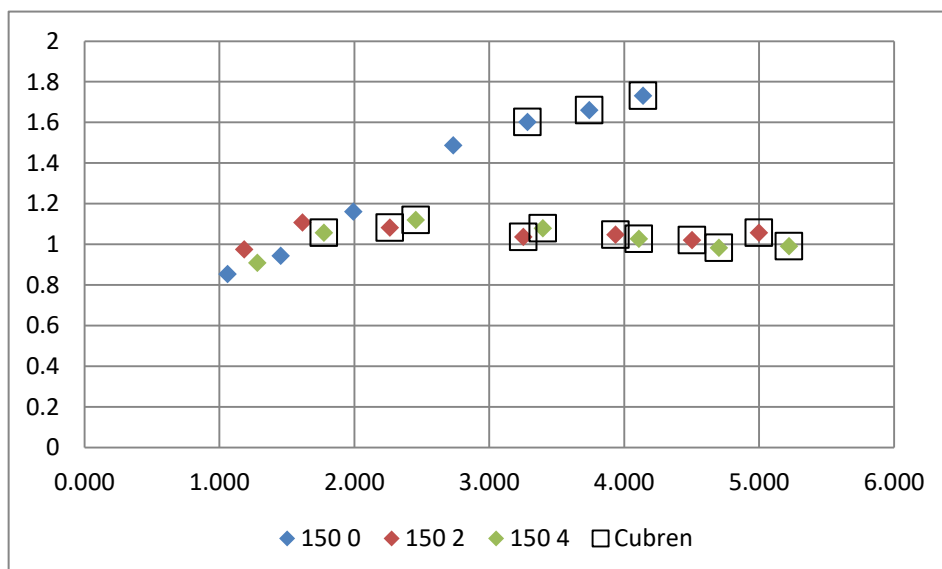


Figura 12. Relación entre los coeficientes de desagüe y el nº de Froude con caudal de 150 l/s

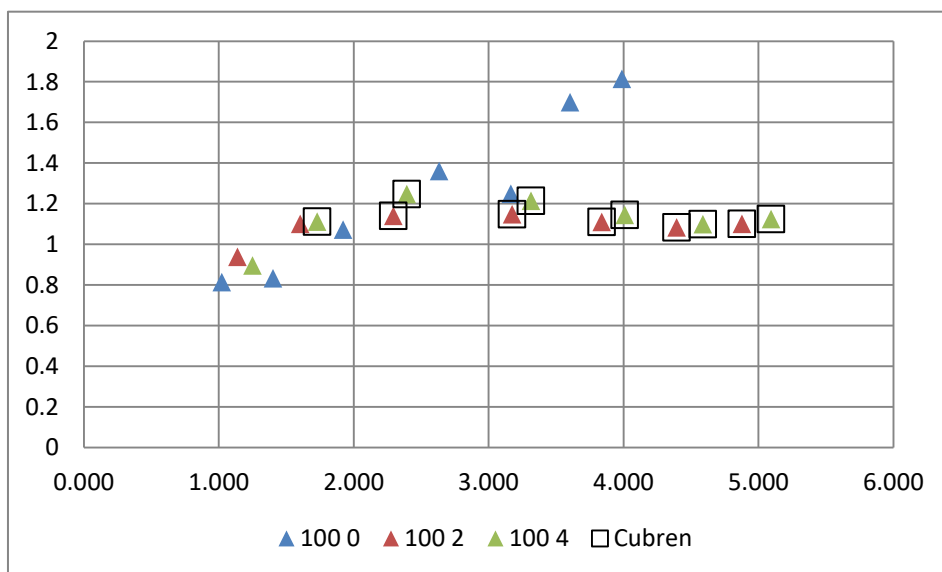


Figura 13. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 100 l/s

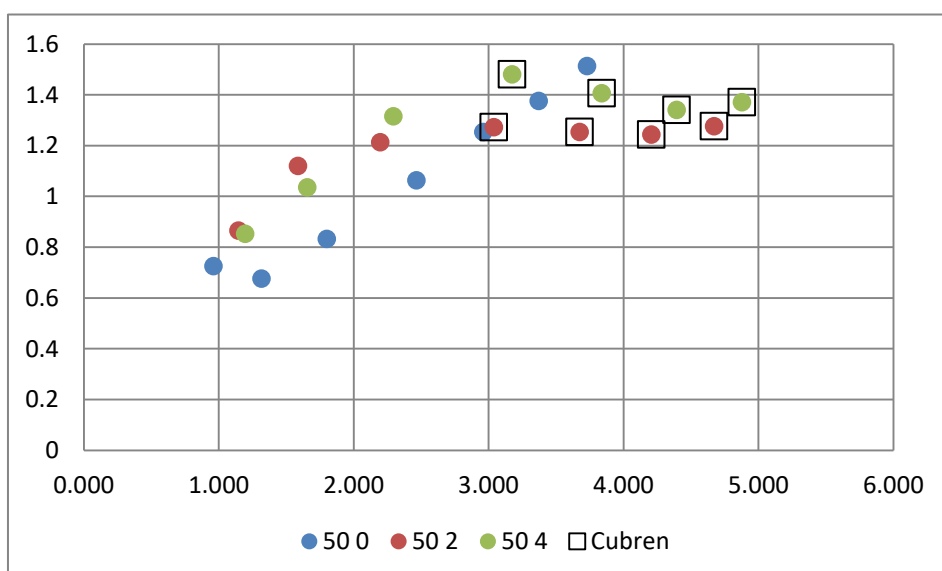


Figura 14. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 50 l/s

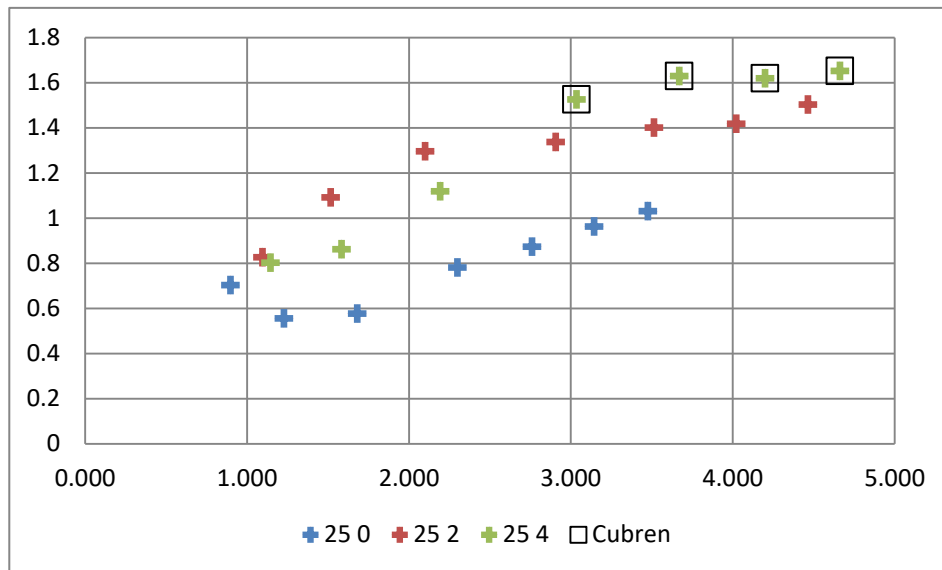
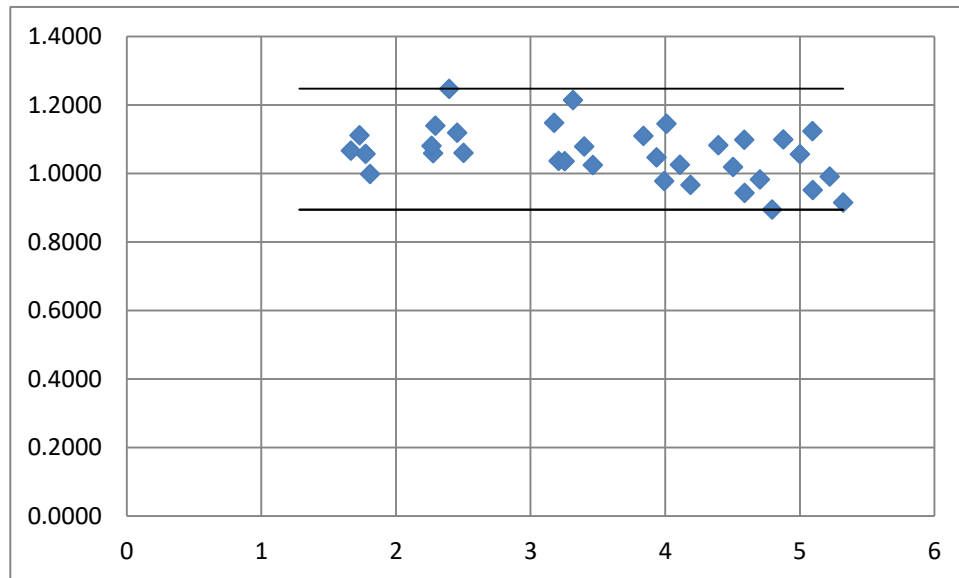


Figura 15. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 25 l/s

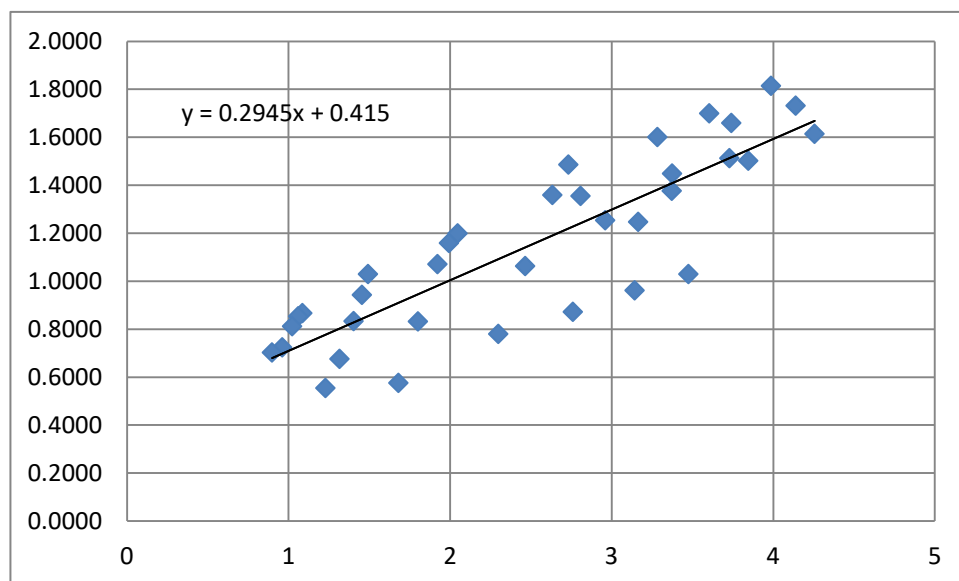
En cada uno de los cinco gráficos anteriores podemos observar los diferentes coeficientes de desagüe encontrados para cada uno de los caudales estudiados. De ellos obtenemos diferentes puntos relevantes:

- Cuando tratamos con caudales altos, a partir de 100 litros por segundo, se observa que los coeficientes de desagüe tienden a ser constantes en los casos que existe pendiente transversal en la calzada.
- Esta tendencia horizontal se encuentra alrededor de un valor de coeficiente de desagüe de 1. Siendo más exactos y acotando los resultados, éstos varían entre un 0,8944 y un 1,247.
- En los casos donde el caudal es inferior a 100 litros por segundo observamos una clara diferencia respecto a los caudales superiores, manteniéndose esta tendencia constante, pero con un valor de coeficiente del orden del 1,4.
- Cuando no existe pendiente transversal, es decir, solamente tenemos pendiente longitudinal en la calzada, los coeficientes de desagüe aumentan claramente a la par con su respectivo número de Froude. Cosa que hace que se cree una tendencia lineal creciente.
- Los valores en las situaciones en que la reja está parcialmente cubierta se asemejan mucho a los coeficientes cuando no tenemos pendiente transversal expuesta en el punto anterior. Esto se ve con mayor claridad en los casos de menor caudal.

Para concluir este primer caso de la reja Barcelona1, exponemos un resumen gráfico de los puntos anteriormente descritos:



**Figura 16. Relación acotada entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s.**



**Figura 17. Relación lineal entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude sin pendiente transversal.**

De estos resultados obtenidos, podemos descartar la hipótesis expuesta al principio de este estudio, donde proponíamos mantener el coeficiente de desagüe habitual en un vertedero.

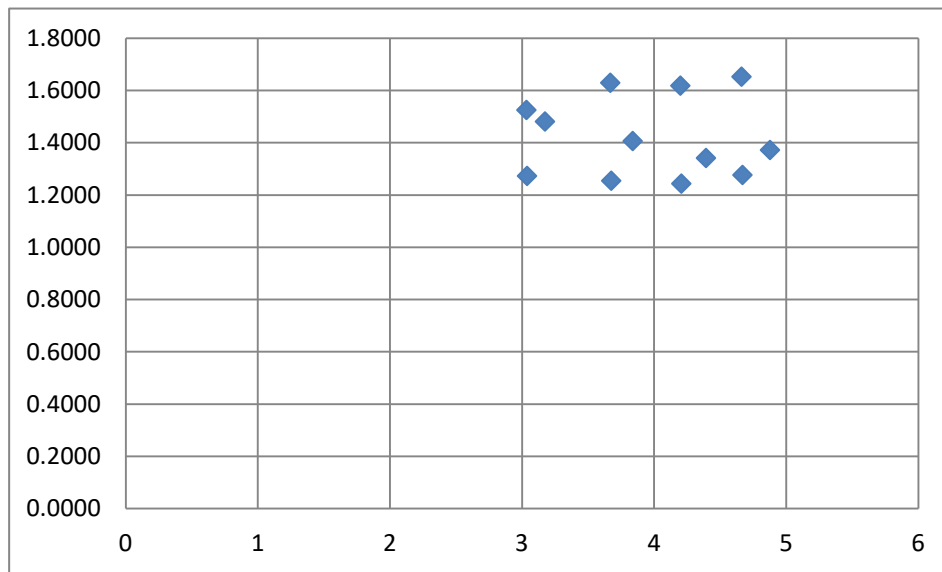


Figura 18. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales inferiores a 100 l/s.

## 5.2. Reja “E-25”

Ahora nos disponemos a realizar el mismo procedimiento de estudio que el usado en la reja Barcelona 1.

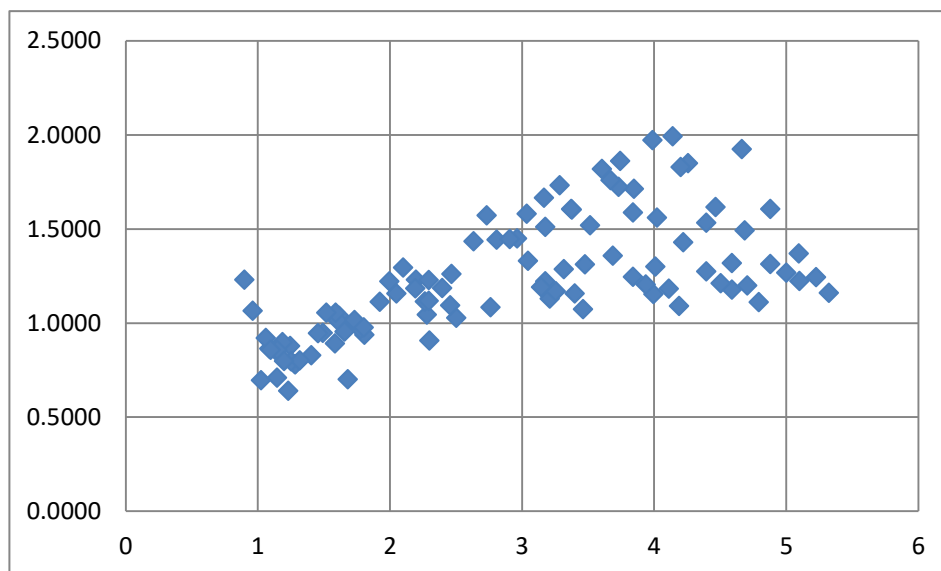


Figura 19. Relación entre los coeficientes de desagüe y su número de Froude

En este gráfico observamos exactamente lo mismo que en el caso anterior. Cuando cogemos todos los coeficientes de desagüe y los colocamos en una nube de puntos, no siguen ninguna tendencia ni pauta claramente visible.

Por lo tanto, debemos dividir los resultados en base a su caudal y pendientes longitudinales.

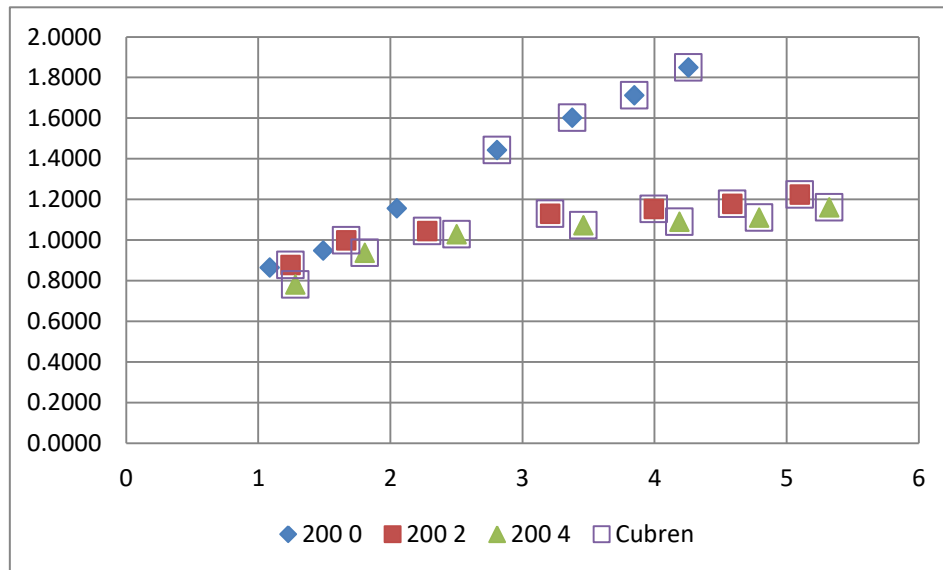


Figura 20. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 200 l/s

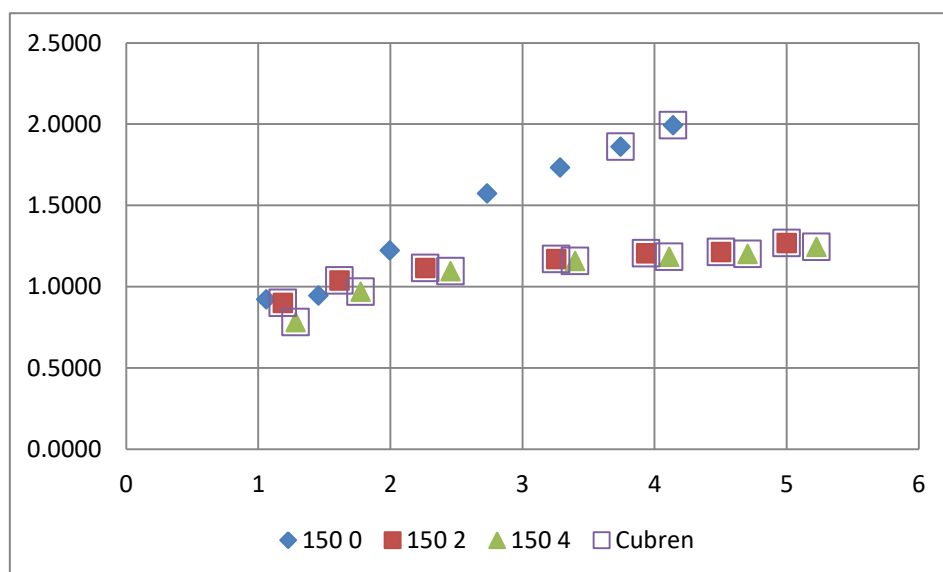


Figura 21. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 150 l/s



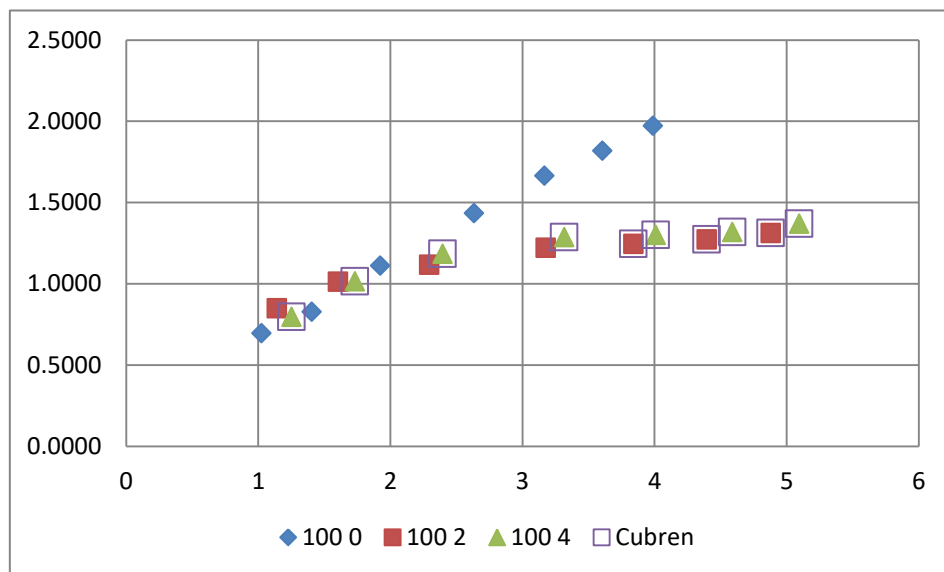


Figura 22. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 100 l/s

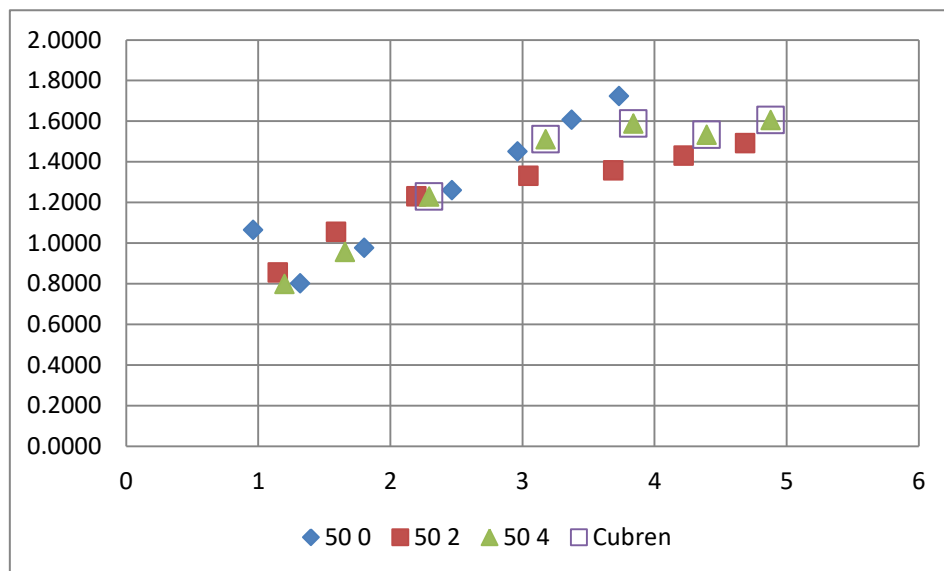


Figura 23. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 50 l/s

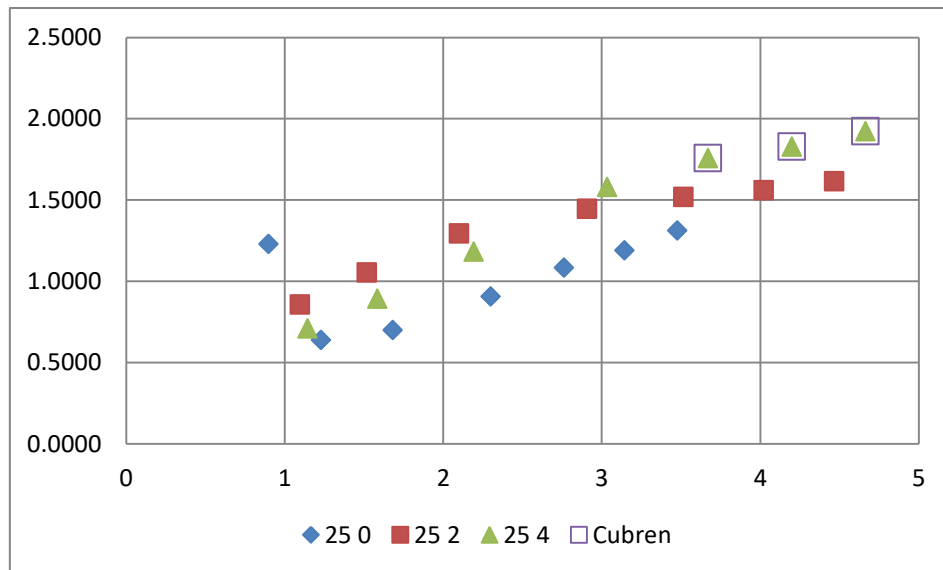
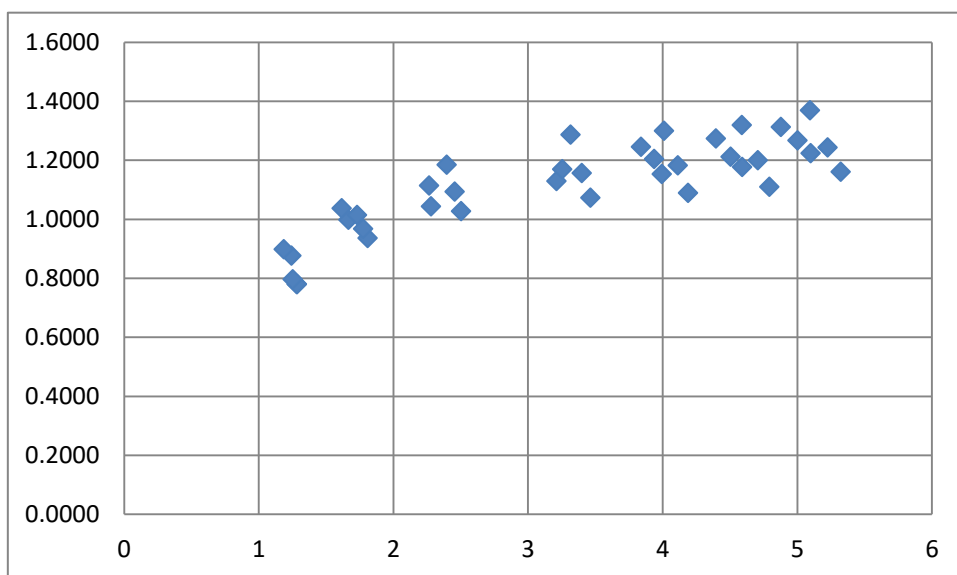


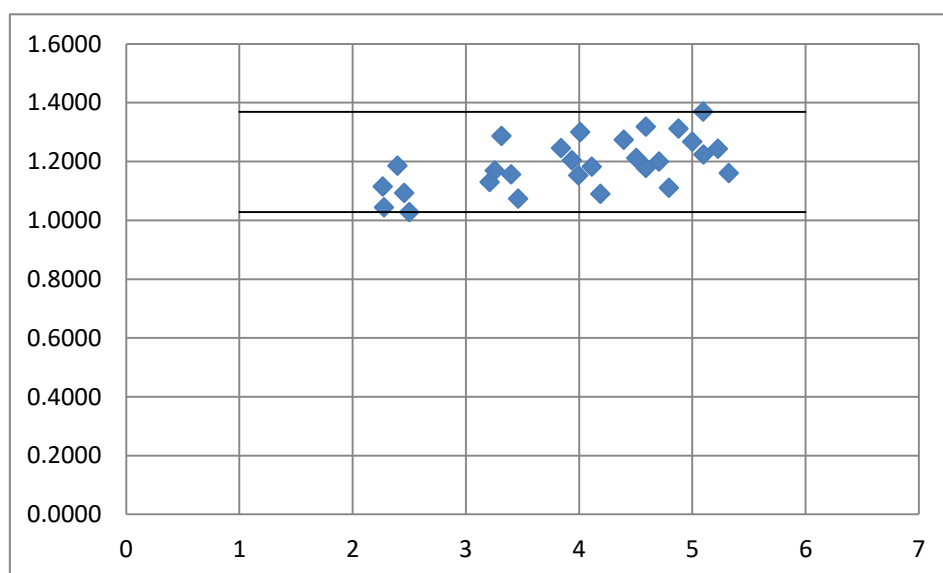
Figura 24. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 25 l/s

Realizando un paralelismo respecto con la reja anteriormente estudiada obtenemos los siguientes puntos significativos:

- Al igual que con la reja Barcelona 1, en las situaciones donde el caudal de escorrentía es superior a 100 litros por segundo se ve claramente esta tendencia de los coeficientes de desagüe a mantenerse constantes.
- Los valores se encuentran en un rango relativamente igual respecto a la reja anterior. Esto nos plantea la hipótesis de que lo más seguro es que el valor del coeficiente de desagüe sea el mismo independientemente de la reja. Posteriormente lo intentaremos ratificar con la última reja de estudio.
- Una vez colocamos todos los coeficientes de las situaciones, en las cuales la reja ha sido cubierta por completo, para realizar la acotación de estos, vemos que hay ciertos valores que se encuentran fuera de la personalidad de la mayoría. Éstos están situados a la izquierda del gráfico y corresponden a las pendientes transversales de 0,5% y 1%. Por lo tanto, decidimos descartar estos valores no representativos, ya que se podrían originar a causa de que el agua no pudiese salvar las irregularidades que pudieran existir en la plataforma del laboratorio.
- Los valores se mueven dentro de un rango acotado entre el 1,0275 y el 1,3692.



**Figura 25.** Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s (pendientes de 0% i 0,5% incluidas).



**Figura 26.** Relación acotada entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s. (pendientes de 0% i 0,5% no incluidas).

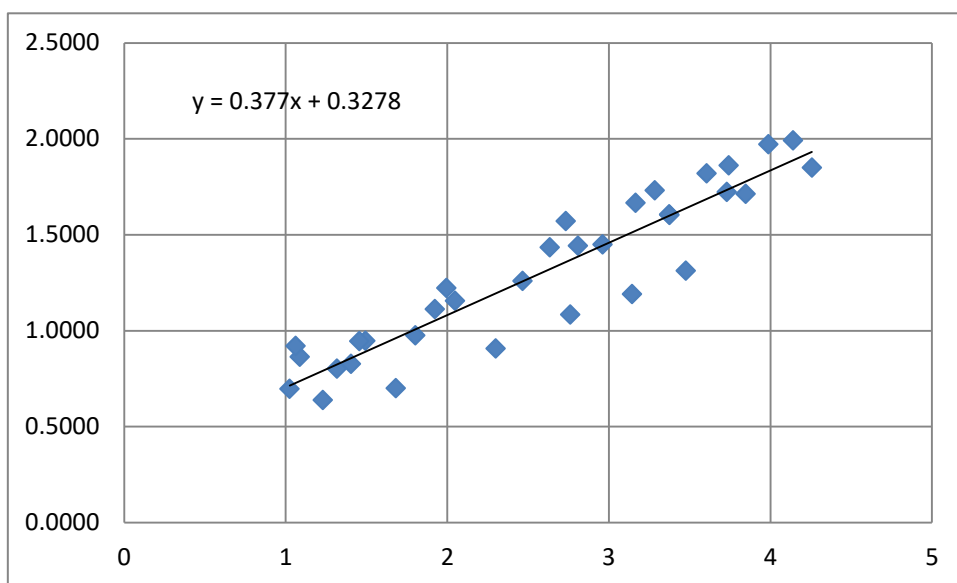


Figura 27. Relación lineal entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude sin pendiente transversal.

### 5.3. Reja “Meridiana”

Este tipo de sumidero es significativamente diferente respecto a los dos anteriores estudiados, ya que no dispone ni de barras longitudinales ni diagonales. Esto se verá reflejado, a continuación, en los resultados obtenidos.

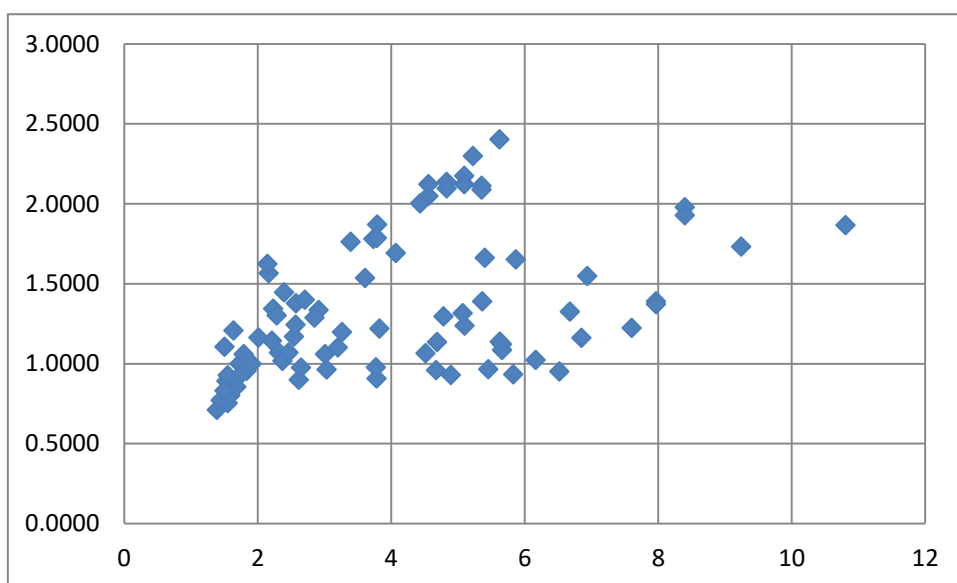


Figura 28. Relación entre los coeficientes de desagüe y su número de Froude

Previsiblemente, esta reja se comporta de la misma manera que las dos anteriores desde un punto de vista global, es decir, sin distinguir caudales ni pendientes.

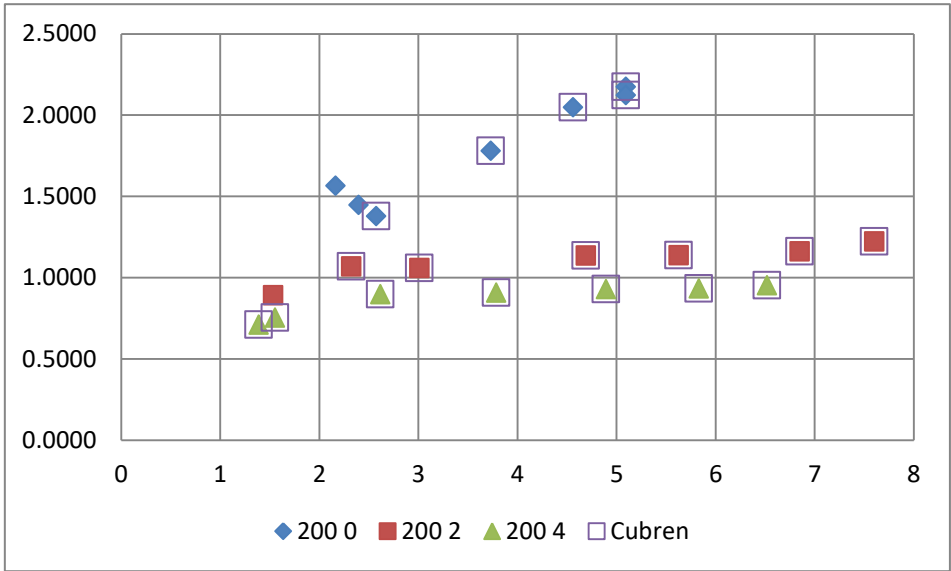


Figura 29. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 200 l/s

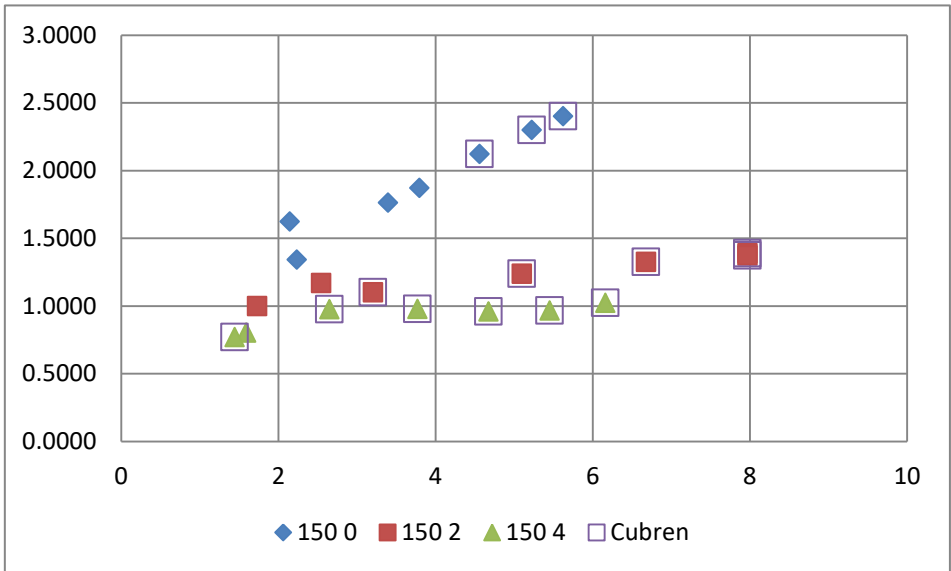


Figura 30. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 150 l/s

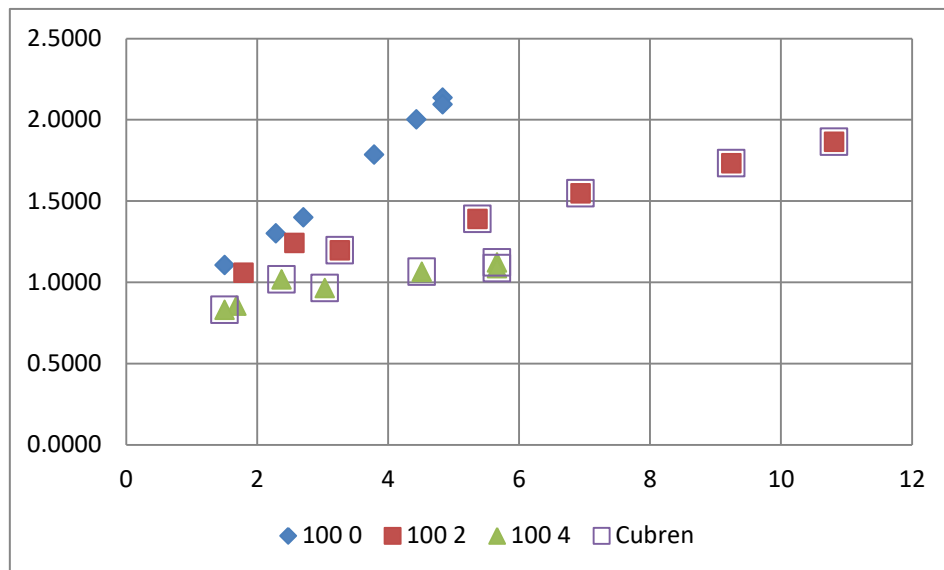


Figura 31. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 100 l/s

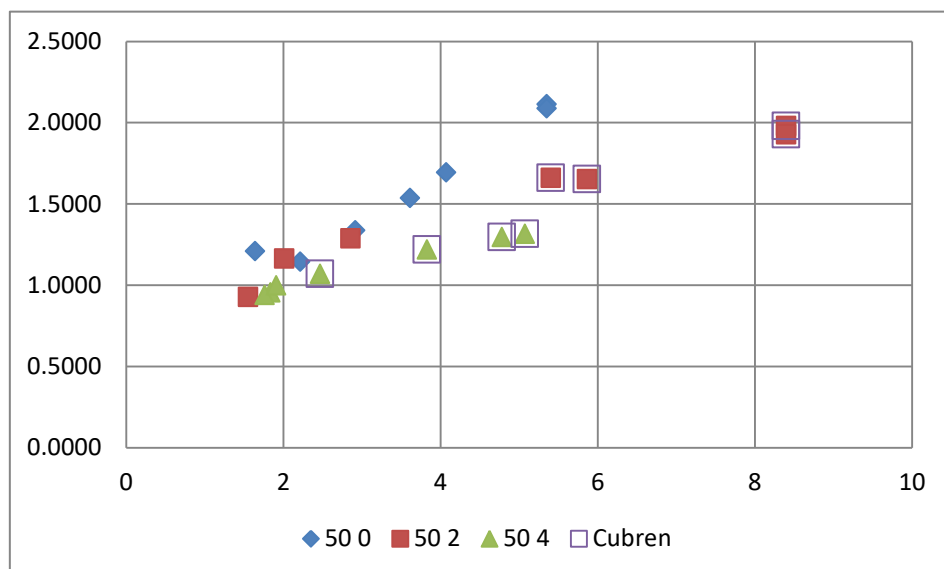
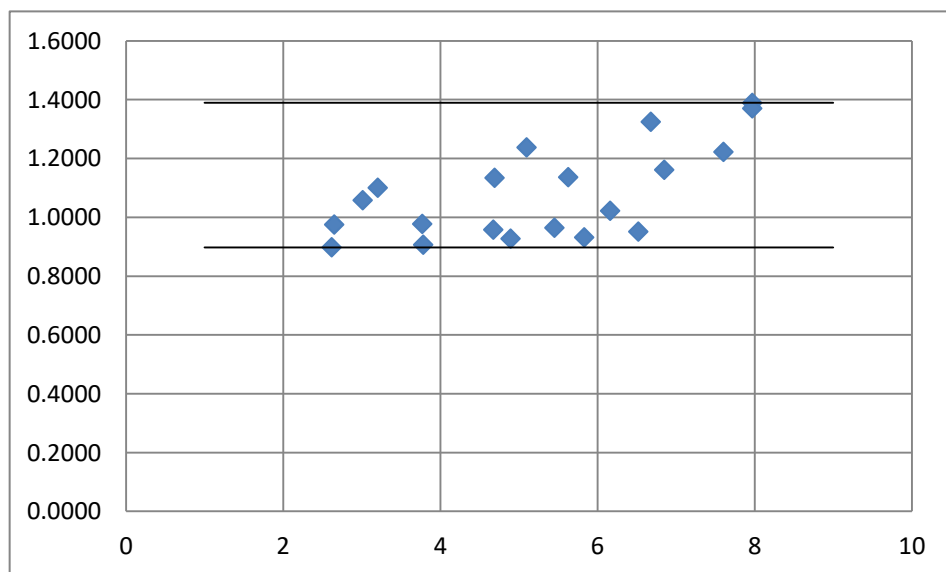


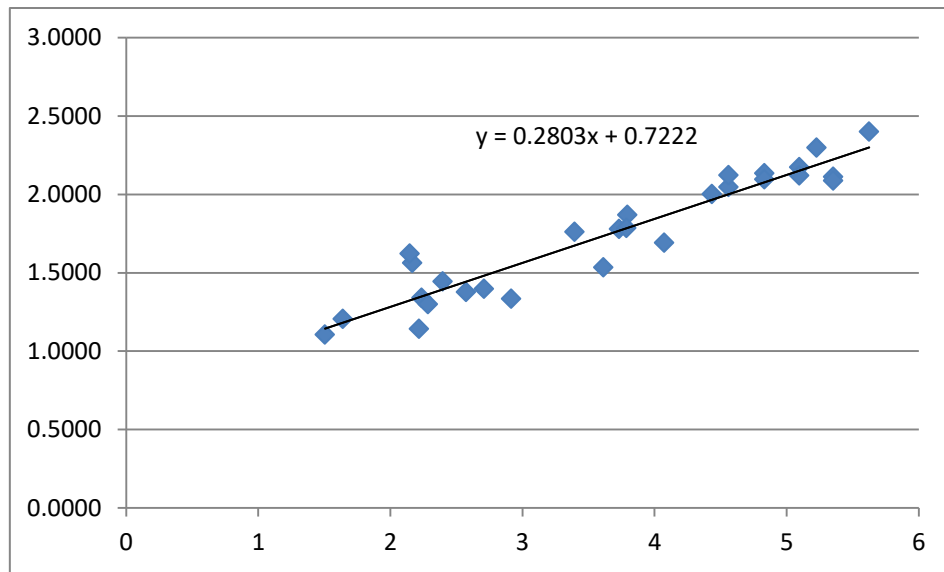
Figura 32. Relación entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude con caudal de 50 l/s

Una vez se realiza la división de caudales como hemos venido haciendo hasta ahora, se obtienen los siguientes puntos destacados:

- En contrapartida con las otras dos rejas observamos que los coeficientes se mantienen constante a partir de caudales superiores a 150 litros por segundo, cosa que en las anteriores ocurría con caudales superiores a 100.
- Este hecho podría ser debido a que la morfología diferente de la reja hace que sea más complicado que se cubra por completo de agua, es decir, las situaciones en las que se cubre la reja totalmente son las que tienen pendientes longitudinales y transversales elevadas.
- Paralelamente con las otras dos rejas estudiadas, descartamos los valores de los experimentos que no cubren la reja. También, como en el caso de la reja “E-25” eliminamos los coeficientes que se encuentran a la izquierda del gráfico que corresponden a las calzadas con pendientes de 0,5% y 1%.
- Después de esta selección, los coeficientes de desagüe encontrados se pueden acotar en un rango entre el 1.389 y el 0.8976. Observamos que el rango es bastante parecido al de las dos rejas, ratificando de esta manera la hipótesis planteada anteriormente.
- En los casos donde no hay pendiente transversal continúa habiendo esta línea de tendencia creciente en los coeficientes.



**Figura 33** Relación acotada entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude cuando la reja está totalmente cubierta y caudales superiores a 100 l/s. (pendientes de 0% i 0,5% no incluidas).



**Figura 34.** Relación lineal entre los coeficientes de desagüe y el n° de Froude sin pendiente transversal.



## 6. Conclusiones

A raíz de los últimos estudios sobre el funcionamiento de los sumideros en medios urbanos, surgió la necesidad de modelizar la manera de desaguar de dichos elementos, ya fuera utilizando las leyes que rigen el desagüe en un orificio o en este caso, las de un vertedero.

Este estudio, como bien ha sido explicado a lo largo del trabajo, ha tratado de ratificar la hipótesis que considera el funcionamiento de un sumidero como el de un vertedero.

En cierto sentido, una vez analizamos los resultados anteriormente expuestos, podemos afirmar que un sumidero se puede comportar como un vertedero hidráulico, pero con algunas consideraciones.

El coeficiente de desagüe que ajusta la fórmula del caudal que circula por un vertedero se puede considerar constante independientemente de las pendientes transversales y longitudinales que tenga la calzada de la vía.

Este valor, no obstante, no es el mismo que el que usaríamos en un vertedero convencional, el cual es del orden de 0,6 ( $\mu$ ) o 2 (Cd).

Hay que resaltar que esto es cierto cuando los caudales son suficientemente grandes, superiores a 100 litros por segundo. Con los caudales inferiores también existe esta tendencia a ser constantes, pero tienen un valor superior. Cabe decir que estos caudales de escorrentía no suponen grandes problemas dentro del ámbito urbano.

La tipología de la reja no interviene en la obtención de los coeficientes. Hemos podido observar que si cambiamos el tipo de sumidero, el coeficiente de desagüe se mantiene dentro de unos valores similares en todas las rejillas.

Estudiando todas las combinaciones de pendientes y caudales, observamos que esta tendencia a la constancia se mueve entre unos rangos acotados. En la cota superior podríamos determinar los caudales cercanos a 100 litros por segundo y en la cota inferior cercanos a 200 litros por segundo. No obstante, la cuestión sobre qué coeficiente introducir en la fórmula vendrá marcada por la decisión del ingeniero o especialista que esté detrás del proyecto.

Las vías urbanas que no tengan pendiente transversal se considerarán aparte, ya que el coeficiente de desagüe sigue una tendencia lineal creciente a medida que la pendiente longitudinal va aumentando.

Recopilando todo lo anterior mostrado, podemos estimar los coeficientes de desagüe asumiendo el comportamiento como vertedero de la siguiente manera:

- **Reja “Barcelona1”**

Con pendiente transversal:

$$Cd = [0.8944; 1.247]$$

$$\mu = [0.3029; 0.4223]$$

Sin pendiente transversal:

$$Cd = 0.2945 \cdot Fr + 0.415$$

- **Reja “E-25”**

Con pendiente transversal:

$$Cd = [1.0275; 1.3692]$$

$$\mu = [0.3480; 0.4637]$$

Sin pendiente transversal:

$$Cd = 0.377 \cdot Fr + 0.3278$$

- **Reja “Meridiana”**

Con pendiente transversal:

$$Cd = [0.8976; 1.3890]$$

$$\mu = [0.3040; 0.4704]$$

Sin pendiente transversal:

$$Cd = 0.2803 \cdot Fr + 0.7222$$

## 7. Referencias

- Sánchez-Juny, M., Bladé, E., Puertas, J. (2005). *Hidráulica*. Edicions UPC.
- Subramanya K. (1982). *Flow in open channels*. Ed. Mc. Graw-Hill. New York.
- Subramanya K. (1982). *Flow through bottom racks*. Indian J. of Technology. Vol.19. 64-67.
- Mostkow M. A. (1957). *A theoretical study of bottom type water intakes*. La Houille Blanche. 570-580.
- Ochoa, J.F. (2011). *Perfiles de flujo y dimensionamiento de rejillas en bocatomas de fondo utilizando el método de Mostkow*. Revista Politécnica (Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid). Vol.12. Enero-Junio 2011.

## Anexo: Tablas con los datos completos

### - BARCELONA1

Q (L/s)	itrans. [%]	ilong. [%]	Calado	Cd ( $L_{1+2+3}$ )	Cd ( $L_{1+2}$ )	Cd ( $L_1$ )	Fr
200.75	0	0	-	-	-	-	-
200.75	0	0.5	0.07282	0.86698	1.07587	4.46528	1.08731
200.75	0	1	0.05894	1.02947	1.27751	5.30215	1.49323
200.75	0	2	0.04773	1.19918	1.48811	6.17622	2.04866
200.75	0	4	0.03868	1.35493	1.68138	6.97838	2.80842
200.75	0	6	0.03421	1.44863	1.79767	7.46101	3.37646
200.75	0	8	0.03136	1.50257	1.86461	7.73883	3.84742
200.75	0	10	0.02931	1.61495	2.00406	8.31762	4.25723
200.75	2	0	-	-	-	-	-
200.75	2	0.5	0.09657	0.97233	1.20660	5.00785	1.24379
200.75	2	1	0.08480	1.06610	1.32297	5.49082	1.66527
200.75	2	2	0.07447	1.05860	1.31366	5.45218	2.27836
200.75	2	4	0.06539	1.03683	1.28664	5.34005	3.20870
200.75	2	6	0.06059	0.97777	1.21335	5.03588	3.99400
200.75	2	8	0.05742	0.94294	1.17013	4.85648	4.69240
200.75	2	10	0.05506	0.95170	1.18101	4.90162	5.32094
200.75	4	0	-	-	-	-	-
200.75	4	0.5	0.12523	0.81730	1.01422	4.20938	0.72702
200.75	4	1	0.10997	0.99814	1.23863	5.14079	1.80807
200.75	4	2	0.09656	1.06007	1.31548	5.45974	2.50301
200.75	4	4	0.08479	1.02430	1.27110	5.27553	3.46409
200.75	4	6	0.07858	0.96697	1.19995	4.98026	4.18934
200.75	4	8	0.07445	0.89445	1.10996	4.60673	4.79537
200.75	4	10	0.07140	0.91482	1.13524	4.71168	5.32246
149.47	0	0	-	-	-	-	-
149.47	0	0.5	0.06082	0.85315	1.05871	4.39403	1.06057
149.47	0	1	0.04925	0.94296	1.17016	4.85662	1.45526
149.47	0	2	0.03991	1.15972	1.43915	5.97300	1.99517
149.47	0	4	0.03235	1.48622	1.84431	7.65460	2.73355
149.47	0	6	0.02862	1.60142	1.98727	8.24792	3.28551
149.47	0	8	0.02624	1.65936	2.05917	8.54634	3.74311
149.47	0	10	0.02453	1.73123	2.14836	8.91648	4.14127
149.47	2	0	-	-	-	-	-
149.47	2	0.5	0.08646	0.97407	1.20877	5.01685	1.18570
149.47	2	1	0.07592	1.10638	1.37295	5.69826	1.61638
149.47	2	2	0.06667	1.08073	1.34112	5.56617	2.26528
149.47	2	4	0.05855	1.03531	1.28476	5.33224	3.25512
149.47	2	6	0.05426	1.04672	1.29892	5.39101	3.93649
149.47	2	8	0.05141	1.01925	1.26482	5.24950	4.50479
149.47	2	10	0.04930	1.05654	1.31110	5.44158	5.00151

149.47	4	0	-	-	-	-	-
149.47	4	0.5	0.11213	0.90849	1.12738	4.67906	1.28250
149.47	4	1	0.09846	1.05693	1.31159	5.44360	1.77487
149.47	4	2	0.08646	1.11911	1.38875	5.76382	2.45626
149.47	4	4	0.07592	1.07866	1.33856	5.55552	3.39924
149.47	4	6	0.07037	1.02574	1.27289	5.28296	4.11078
149.47	4	8	0.06667	0.98288	1.21970	5.06220	4.70424
149.47	4	10	0.06394	0.99044	1.22908	5.10112	5.22295
100.62	0	0	-	-	-	-	-
100.62	0	0.5	0.04780	0.81282	1.00866	4.18634	1.02455
100.62	0	1	0.03874	0.83304	1.03375	4.29047	1.40452
100.62	0	2	0.03140	1.07124	1.32934	5.51727	1.92414
100.62	0	4	0.02547	1.36000	1.68769	7.00453	2.63459
100.62	0	6	0.02253	1.24769	1.54832	6.42610	3.16559
100.62	0	8	0.02066	1.69917	2.10858	8.75139	3.60578
100.62	0	10	0.01932	1.81388	2.25092	9.34216	3.98876
100.62	2	0	-	-	-	-	-
100.62	2	0.5	0.07454	0.93842	1.16453	4.83323	1.13934
100.62	2	1	0.06545	1.10087	1.36611	5.66987	1.60420
100.62	2	2	0.05748	1.13958	1.41416	5.86929	2.29466
100.62	2	4	0.05047	1.14756	1.42406	5.91038	3.17560
100.62	2	6	0.04678	1.10917	1.37642	5.71265	3.84033
100.62	2	8	0.04432	1.08284	1.34375	5.57705	4.39474
100.62	2	10	0.04250	1.09968	1.36464	5.66376	4.87932
100.62	4	0	-	-	-	-	-
100.62	4	0.5	0.09666	0.89621	1.11214	4.61581	1.25117
100.62	4	1	0.08488	1.11143	1.37922	5.72426	1.73151
100.62	4	2	0.07454	1.24706	1.54752	6.42281	2.39625
100.62	4	4	0.06545	1.21434	1.50692	6.25430	3.31619
100.62	4	6	0.06066	1.14488	1.42073	5.89658	4.01035
100.62	4	8	0.05748	1.09845	1.36311	5.65742	4.58931
100.62	4	10	0.05512	1.12350	1.39420	5.78645	5.09535
50.3	0	0	-	-	-	-	-
50.3	0	0.5	0.03140	0.72477	0.89940	3.73283	0.96205
50.3	0	1	0.02547	0.67637	0.83933	3.48354	1.31727
50.3	0	2	0.02066	0.83216	1.03266	4.28594	1.80285
50.3	0	4	0.01676	1.06306	1.31919	5.47513	2.46657
50.3	0	6	0.01484	1.25378	1.55587	6.45745	2.96255
50.3	0	8	0.01360	1.37616	1.70774	7.08775	3.37364
50.3	0	10	0.01272	1.51267	1.87713	7.79081	3.73131
50.3	2	0	-	-	-	-	-
50.3	2	0.5	0.05747	0.86504	1.07347	4.45529	1.14731
50.3	2	1	0.05047	1.12010	1.38998	5.76896	1.58778
50.3	2	2	0.04432	1.21246	1.50459	6.24462	2.19734
50.3	2	4	0.03892	1.27244	1.57902	6.55353	3.04092

50.3	2	6	0.03607	1.25372	1.55579	6.45711	3.67746
50.3	2	8	0.03417	1.24345	1.54305	6.40424	4.20836
50.3	2	10	0.03277	1.27550	1.58282	6.56928	4.67240
50.3	4	0	-	-	-	-	-
50.3	4	0.5	0.07453	0.85211	1.05742	4.38868	1.19811
50.3	4	1	0.06545	1.03552	1.28502	5.33333	1.65808
50.3	4	2	0.05747	1.31519	1.63208	6.77374	2.29463
50.3	4	4	0.05047	1.48025	1.83690	7.62383	3.17556
50.3	4	6	0.04677	1.40632	1.74517	7.24309	3.84028
50.3	4	8	0.04432	1.34050	1.66348	6.90407	4.39468
50.3	4	10	0.04250	1.37095	1.70127	7.06089	4.87926
24.42	0	0	-	-	-	-	-
24.42	0	0.5	0.02029	0.70273	0.87205	3.61934	0.89890
24.42	0	1	0.01647	0.55517	0.68894	2.85935	1.22980
24.42	0	2	0.01337	0.57607	0.71487	2.96696	1.68202
24.42	0	4	0.01085	0.78076	0.96888	4.02123	2.30000
24.42	0	6	0.00960	0.87232	1.08249	4.49276	2.76175
24.42	0	8	0.00881	0.96172	1.19344	4.95323	3.14444
24.42	0	10	0.00824	1.02942	1.27745	5.30190	3.47739
24.42	2	0	-	-	-	-	-
24.42	2	0.5	0.04383	0.82624	1.02531	4.25544	1.09665
24.42	2	1	0.03849	1.09112	1.35401	5.61966	1.51766
24.42	2	2	0.03380	1.29488	1.60687	6.66912	2.10031
24.42	2	4	0.02968	1.33700	1.65914	6.88606	2.90664
24.42	2	6	0.02751	1.40074	1.73824	7.21434	3.51507
24.42	2	8	0.02606	1.41705	1.75848	7.29833	4.02253
24.42	2	10	0.02499	1.50260	1.86464	7.73895	4.46607
24.42	4	0	-	-	-	-	-
24.42	4	0.5	0.05684	0.80171	0.99487	4.12909	1.14520
24.42	4	1	0.04991	0.86120	1.06871	4.43553	1.58486
24.42	4	2	0.04383	1.11773	1.38703	5.75671	2.19330
24.42	4	4	0.03849	1.52457	1.89190	7.85210	3.03533
24.42	4	6	0.03567	1.62842	2.02077	8.38696	3.67070
24.42	4	8	0.03380	1.61791	2.00774	8.33286	4.20062
24.42	4	10	0.03241	1.65135	2.04923	8.50508	4.66380

Tabla 4. Valores referentes a la reja Barcelona1 con calado en el borde exterior.

Q (L/s)	itrans. [%]	ilong. [%]	ym	Cd ( $L_{1+2+3}$ )	Cd ( $L_{1+2}$ )	Cd ( $L_1$ )	Fr
200.75	0	0	-	-	-	-	-
200.75	0	0.5	0.07282	0.86698	1.07587	4.46528	1.08731
200.75	0	1	0.05894	1.02947	1.27751	5.30215	1.49323
200.75	0	2	0.04773	1.19918	1.48811	6.17622	2.04866
200.75	0	4	0.03868	1.35493	1.68138	6.97838	2.80842
200.75	0	6	0.03421	1.44863	1.79767	7.46101	3.37646
200.75	0	8	0.03136	1.50257	1.86461	7.73883	3.84742
200.75	0	10	0.02931	1.61495	2.00406	8.31762	4.25723
200.75	2	0	-	-	-	-	-
200.75	2	0.5	0.09431	1.00750	1.25025	5.18901	1.24379
200.75	2	1	0.08254	1.11020	1.37770	5.71797	1.66527
200.75	2	2	0.07221	1.10871	1.37584	5.71026	2.27836
200.75	2	4	0.06313	1.09302	1.35638	5.62947	3.20870
200.75	2	6	0.05833	1.03517	1.28459	5.33152	3.99400
200.75	2	8	0.05515	1.00151	1.24282	5.15815	4.69240
200.75	2	10	0.05280	1.01348	1.25768	5.21983	5.32094
200.75	4	0	-	-	-	-	-
200.75	4	0.5	0.12071	0.86365	1.07174	4.44813	0.72702
200.75	4	1	0.10545	1.06303	1.31915	5.47498	1.80807
200.75	4	2	0.09204	1.13915	1.41361	5.86703	2.50301
200.75	4	4	0.08027	1.11207	1.38001	5.72757	3.46409
200.75	4	6	0.07406	1.05687	1.31152	5.44330	4.18934
200.75	4	8	0.06992	0.98260	1.21935	5.06076	4.79537
200.75	4	10	0.06688	1.00915	1.25230	5.19751	5.32246
149.47	0	0	-	-	-	-	-
149.47	0	0.5	0.06082	0.85315	1.05871	4.39403	1.06057
149.47	0	1	0.04925	0.94296	1.17016	4.85662	1.45526
149.47	0	2	0.03991	1.15972	1.43915	5.97300	1.99517
149.47	0	4	0.03235	1.48622	1.84431	7.65460	2.73355
149.47	0	6	0.02862	1.60142	1.98727	8.24792	3.28551
149.47	0	8	0.02624	1.65936	2.05917	8.54634	3.74311
149.47	0	10	0.02453	1.73123	2.14836	8.91648	4.14127
149.47	2	0	-	-	-	-	-
149.47	2	0.5	0.08420	1.01357	1.25778	5.22027	1.18570
149.47	2	1	0.07366	1.15771	1.43665	5.96262	1.61638
149.47	2	2	0.06441	1.13813	1.41236	5.86181	2.26528
149.47	2	4	0.05628	1.09832	1.36295	5.65675	3.25512
149.47	2	6	0.05200	1.11573	1.38455	5.74642	3.93649
149.47	2	8	0.04915	1.09038	1.35310	5.61587	4.50479
149.47	2	10	0.04704	1.13362	1.40675	5.83856	5.00151
149.47	4	0	-	-	-	-	-
149.47	4	0.5	0.10760	0.96636	1.19919	4.97709	1.28250
149.47	4	1	0.09394	1.13416	1.40743	5.84135	1.77487

149.47	4	2	0.08194	1.21301	1.50528	6.24747	2.45626
149.47	4	4	0.07140	1.18274	1.46771	6.09156	3.39924
149.47	4	6	0.06584	1.13321	1.40624	5.83644	4.11078
149.47	4	8	0.06215	1.09208	1.35521	5.62463	4.70424
149.47	4	10	0.05942	1.10563	1.37202	5.69441	5.22295
100.62	0	0	-	-	-	-	-
100.62	0	0.5	0.04780	0.81282	1.00866	4.18634	1.02455
100.62	0	1	0.03874	0.83304	1.03375	4.29047	1.40452
100.62	0	2	0.03140	1.07124	1.32934	5.51727	1.92414
100.62	0	4	0.02547	1.36000	1.68769	7.00453	2.63459
100.62	0	6	0.02253	1.24769	1.54832	6.42610	3.16559
100.62	0	8	0.02066	1.69917	2.10858	8.75139	3.60578
100.62	0	10	0.01932	1.81388	2.25092	9.34216	3.98876
100.62	2	0	-	-	-	-	-
100.62	2	0.5	0.07228	0.98280	1.21960	5.06179	1.13934
100.62	2	1	0.06319	1.16048	1.44008	5.97688	1.60420
100.62	2	2	0.05521	1.21029	1.50191	6.23347	2.29466
100.62	2	4	0.04821	1.22923	1.52541	6.33101	3.17560
100.62	2	6	0.04451	1.19474	1.48260	6.15337	3.84033
100.62	2	8	0.04206	1.17132	1.45355	6.03276	4.39474
100.62	2	10	0.04024	1.19365	1.48125	6.14773	4.87932
100.62	4	0	-	-	-	-	-
100.62	4	0.5	0.09214	0.96299	1.19501	4.95974	1.25117
100.62	4	1	0.08036	1.20655	1.49726	6.21417	1.73151
100.62	4	2	0.07001	1.36980	1.69984	7.05499	2.39625
100.62	4	4	0.06093	1.35200	1.67776	6.96332	3.31619
100.62	4	6	0.05614	1.28596	1.59581	6.62319	4.01035
100.62	4	8	0.05295	1.24211	1.54139	6.39736	4.58931
100.62	4	10	0.05060	1.27743	1.58522	6.57924	5.09535
50.3	0	0	-	-	-	-	-
50.3	0	0.5	0.03140	0.72477	0.89940	3.73283	0.96205
50.3	0	1	0.02547	0.67637	0.83933	3.48354	1.31727
50.3	0	2	0.02066	0.83216	1.03266	4.28594	1.80285
50.3	0	4	0.01676	1.06306	1.31919	5.47513	2.46657
50.3	0	6	0.01484	1.25378	1.55587	6.45745	2.96255
50.3	0	8	0.01360	1.37616	1.70774	7.08775	3.37364
50.3	0	10	0.01272	1.51267	1.87713	7.79081	3.73131
50.3	2	0	-	-	-	-	-
50.3	2	0.5	0.05521	0.91872	1.14008	4.73176	1.14731
50.3	2	1	0.04821	1.19982	1.48891	6.17955	1.58778
50.3	2	2	0.04206	1.31154	1.62754	6.75492	2.19734
50.3	2	4	0.03665	1.39197	1.72735	7.16916	3.04092
50.3	2	6	0.03381	1.38157	1.71445	7.11563	3.67746
50.3	2	8	0.03191	1.37792	1.70991	7.09678	4.20836
50.3	2	10	0.03051	1.41987	1.76198	7.31286	4.67240



50.3	4	0	-	-	-	-	-
50.3	4	0.5	0.07001	0.93599	1.16150	4.82068	1.19811
50.3	4	1	0.06093	1.15292	1.43071	5.93798	1.65808
50.3	4	2	0.05295	1.48722	1.84556	7.65975	2.29463
50.3	4	4	0.04594	1.70407	2.11466	8.77662	3.17556
50.3	4	6	0.04225	1.63804	2.03271	8.43650	3.84028
50.3	4	8	0.03979	1.57536	1.95493	8.11370	4.39468
50.3	4	10	0.03798	1.62295	2.01399	8.35880	4.87926
24.42	0	0	-	-	-	-	-
24.42	0	0.5	0.02029	0.70273	0.87205	3.61934	0.89890
24.42	0	1	0.01647	0.55517	0.68894	2.85935	1.22980
24.42	0	2	0.01337	0.57607	0.71487	2.96696	1.68202
24.42	0	4	0.01085	0.78076	0.96888	4.02123	2.30000
24.42	0	6	0.00960	0.87232	1.08249	4.49276	2.76175
24.42	0	8	0.00881	0.96172	1.19344	4.95323	3.14444
24.42	0	10	0.00824	1.02942	1.27745	5.30190	3.47739
24.42	2	0	-	-	-	-	-
24.42	2	0.5	0.04157	0.89456	1.11009	4.60731	1.09665
24.42	2	1	0.03623	1.19484	1.48273	6.15389	1.51766
24.42	2	2	0.03154	1.43660	1.78274	7.39904	2.10031
24.42	2	4	0.02742	1.50575	1.86855	7.75518	2.90664
24.42	2	6	0.02524	1.59308	1.97692	8.20495	3.51507
24.42	2	8	0.02380	1.62370	2.01492	8.36266	4.02253
24.42	2	10	0.02273	1.73226	2.14964	8.92180	4.46607
24.42	4	0	-	-	-	-	-
24.42	4	0.5	0.05232	0.90786	1.12660	4.67583	1.14520
24.42	4	1	0.04539	0.99305	1.23232	5.11460	1.58486
24.42	4	2	0.03931	1.31605	1.63314	6.77814	2.19330
24.42	4	4	0.03397	1.83894	2.28202	9.47125	3.03533
24.42	4	6	0.03115	1.99560	2.47643	10.27810	3.67070
24.42	4	8	0.02928	2.00690	2.49045	10.33631	4.20062
24.42	4	10	0.02789	2.06883	2.56730	10.65525	4.66380

Tabla 5. Valores referentes a la reja Barcelona1 con calado medio.

Q (L/s)	itrans. [%]	ilong. [%]	Calado	Cd ( $L_{1+2+3}$ )	Cd ( $L_{1+2}$ )	Cd ( $L_1$ )	Fr
200.75	0	0	-	-	-	-	-
200.75	0	0.5	0.07282	0.86358	1.16583	3.33094	1.08731
200.75	0	1	0.05894	0.94668	1.27802	3.65149	1.49323
200.75	0	2	0.04773	1.15614	1.56079	4.45939	2.04866
200.75	0	4	0.03868	1.44212	1.94686	5.56247	2.80842
200.75	0	6	0.03421	1.60191	2.16257	6.17878	3.37646
200.75	0	8	0.03136	1.71242	2.31176	6.60504	3.84741
200.75	0	10	0.02931	1.84919	2.49641	7.13259	4.25723
200.75	2	0	-	-	-	-	-
200.75	2	0.5	0.09657	0.87696	1.18390	3.38257	1.24391
200.75	2	1	0.08480	0.99832	1.34774	3.85067	1.66566
200.75	2	2	0.07446	1.04397	1.40936	4.02674	2.27898
200.75	2	4	0.06538	1.12941	1.52470	4.35629	3.21075
200.75	2	6	0.06058	1.15256	1.55596	4.44559	3.99442
200.75	2	8	0.05741	1.17726	1.58930	4.54086	4.59032
200.75	2	10	0.05505	1.22318	1.65129	4.71797	5.10035
200.75	4	0	-	-	-	-	-
200.75	4	0.5	0.12524	0.78017	1.05323	3.00924	1.28224
200.75	4	1	0.10997	0.93626	1.26396	3.61130	1.80807
200.75	4	2	0.09657	1.02753	1.38717	3.96334	2.50223
200.75	4	4	0.08480	1.07271	1.44816	4.13760	3.46336
200.75	4	6	0.07859	1.08953	1.47087	4.20249	4.18865
200.75	4	8	0.07446	1.11010	1.49863	4.28181	4.79307
200.75	4	10	0.07141	1.16056	1.56676	4.47645	5.32227
149.47	0	0	-	-	-	-	-
149.47	0	0.5	0.06082	0.91963	1.24150	3.54715	1.06057
149.47	0	1	0.04925	0.94493	1.27566	3.64475	1.45526
149.47	0	2	0.03991	1.22182	1.64945	4.71273	1.99517
149.47	0	4	0.03235	1.57138	2.12137	6.06104	2.73355
149.47	0	6	0.02862	1.73147	2.33748	6.67853	3.28551
149.47	0	8	0.02624	1.86053	2.51171	7.17633	3.74310
149.47	0	10	0.02453	1.99102	2.68788	7.67966	4.14127
149.47	2	0	-	-	-	-	-
149.47	2	0.5	0.08646	0.89841	1.21285	3.46528	1.18570
149.47	2	1	0.07592	1.03669	1.39953	3.99865	1.61638
149.47	2	2	0.06667	1.11432	1.50433	4.29809	2.26528
149.47	2	4	0.05855	1.16889	1.57800	4.50858	3.25512
149.47	2	6	0.05426	1.20416	1.62562	4.64463	3.93649
149.47	2	8	0.05141	1.21155	1.63559	4.67312	4.50479
149.47	2	10	0.04930	1.26700	1.71044	4.88698	5.00151
149.47	4	0	-	-	-	-	-

149.47	4	0.5	0.11212	0.78048	1.05364	3.01041	1.28262
149.47	4	1	0.09846	0.96713	1.30562	3.73035	1.77493
149.47	4	2	0.08646	1.09302	1.47558	4.21595	2.45665
149.47	4	4	0.07592	1.15646	1.56122	4.46063	3.39996
149.47	4	6	0.07035	1.18259	1.59650	4.56144	4.11259
149.47	4	8	0.06666	1.19950	1.61933	4.62666	4.70621
149.47	4	10	0.06392	1.24287	1.67787	4.79392	5.22672
100.62	0	0	-	-	-	-	-
100.62	0	0.5	0.04780	0.69611	0.93975	2.68500	1.02455
100.62	0	1	0.03874	0.82747	1.11708	3.19166	1.40452
100.62	0	2	0.03140	1.11212	1.50136	4.28961	1.92414
100.62	0	4	0.02547	1.43372	1.93552	5.53006	2.63458
100.62	0	6	0.02253	1.66566	2.24865	6.42470	3.16559
100.62	0	8	0.02066	1.81884	2.45544	7.01553	3.60578
100.62	0	10	0.01932	1.97148	2.66150	7.60428	3.98876
100.62	2	0	-	-	-	-	-
100.62	2	0.5	0.07453	0.85013	1.14768	3.27909	1.13965
100.62	2	1	0.06545	1.01334	1.36802	3.90862	1.60420
100.62	2	2	0.05748	1.11788	1.50914	4.31183	2.29466
100.62	2	4	0.05047	1.22160	1.64915	4.71187	3.17560
100.62	2	6	0.04678	1.24508	1.68086	4.80246	3.84033
100.62	2	8	0.04432	1.27332	1.71899	4.91139	4.39474
100.62	2	10	0.04250	1.31210	1.77134	5.06097	4.87932
100.62	4	0	-	-	-	-	-
100.62	4	0.5	0.09666	0.79605	1.07467	3.07048	1.25130
100.62	4	1	0.08488	1.01452	1.36960	3.91314	1.73151
100.62	4	2	0.07454	1.18478	1.59945	4.56985	2.39625
100.62	4	4	0.06545	1.28614	1.73629	4.96084	3.31619
100.62	4	6	0.06066	1.29969	1.75458	5.01308	4.01035
100.62	4	8	0.05748	1.31854	1.78003	5.08581	4.58931
100.62	4	10	0.05512	1.36916	1.84837	5.28106	5.09535
50.3	0	0	-	-	-	-	-
50.3	0	0.5	0.03140	1.06385	1.43620	4.10343	0.96205
50.3	0	1	0.02547	0.80122	1.08165	3.09042	1.31727
50.3	0	2	0.02066	0.97560	1.31706	3.76304	1.80285
50.3	0	4	0.01676	1.25968	1.70057	4.85877	2.46656
50.3	0	6	0.01484	1.44935	1.95663	5.59036	2.96255
50.3	0	8	0.01360	1.60613	2.16827	6.19506	3.37364
50.3	0	10	0.01272	1.72338	2.32656	6.64732	3.73130
50.3	2	0	-	-	-	-	-
50.3	2	0.5	0.05746	0.85485	1.15405	3.29728	1.14773
50.3	2	1	0.05044	1.05498	1.42422	4.06919	1.58993
50.3	2	2	0.04431	1.22900	1.65915	4.74043	2.19814
50.3	2	4	0.03889	1.32991	1.79538	5.12964	3.04552
50.3	2	6	0.03603	1.35713	1.83212	5.23464	3.68767

50.3	2	8	0.03413	1.42889	1.92900	5.51144	4.22134
50.3	2	10	0.03273	1.49126	2.01320	5.75201	4.68580
50.3	4	0	-	-	-	-	-
50.3	4	0.5	0.07453	0.79701	1.07597	3.07420	1.19811
50.3	4	1	0.06545	0.95471	1.28886	3.68247	1.65807
50.3	4	2	0.05747	1.22845	1.65840	4.73829	2.29463
50.3	4	4	0.05047	1.51018	2.03874	5.82497	3.17555
50.3	4	6	0.04677	1.58649	2.14177	6.11933	3.84027
50.3	4	8	0.04432	1.53267	2.06910	5.91173	4.39468
50.3	4	10	0.04250	1.60517	2.16699	6.19139	4.87926
24.42	0	0	-	-	-	-	-
24.42	0	0.5	0.02029	1.22956	1.65991	4.74261	0.89890
24.42	0	1	0.01647	0.63862	0.86214	2.46326	1.22980
24.42	0	2	0.01337	0.70000	0.94500	2.69999	1.68202
24.42	0	4	0.01085	0.90631	1.22352	3.49578	2.30000
24.42	0	6	0.00960	1.08398	1.46337	4.18106	2.76175
24.42	0	8	0.00881	1.19078	1.60756	4.59302	3.14444
24.42	0	10	0.00824	1.31159	1.77065	5.05900	3.47738
24.42	2	0	-	-	-	-	-
24.42	2	0.5	0.04383	0.85720	1.15722	3.30634	1.09665
24.42	2	1	0.03849	1.05448	1.42354	4.06727	1.51766
24.42	2	2	0.03380	1.29484	1.74803	4.99438	2.10031
24.42	2	4	0.02968	1.44620	1.95237	5.57819	2.90664
24.42	2	6	0.02751	1.51855	2.05004	5.85726	3.51507
24.42	2	8	0.02606	1.56027	2.10637	6.01819	4.02253
24.42	2	10	0.02499	1.61499	2.18023	6.22924	4.46607
24.42	4	0	-	-	-	-	-
24.42	4	0.5	0.05684	0.70968	0.95807	2.73735	1.14520
24.42	4	1	0.04991	0.89189	1.20406	3.44016	1.58486
24.42	4	2	0.04383	1.18286	1.59687	4.56248	2.19330
24.42	4	4	0.03849	1.58042	2.13357	6.09592	3.03533
24.42	4	6	0.03567	1.75828	2.37367	6.78193	3.67070
24.42	4	8	0.03380	1.82838	2.46831	7.05231	4.20062
24.42	4	10	0.03241	1.92343	2.59663	7.41895	4.66380

Tabla 6. Valores referentes a la reja E-25 con calado en el borde exterior.

Q (L/s)	itrans. [%]	ilong. [%]	ym	Cd ( $L_{1+2+3}$ )	Cd ( $L_{1+2}$ )	Cd ( $L_1$ )	Fr
200.75	0	0	-	-	-	-	-
200.75	0	0.5	0.07282	0.86358	1.16583	3.33094	1.08731
200.75	0	1	0.05894	0.94668	1.27802	3.65149	1.49323
200.75	0	2	0.04773	1.15614	1.56079	4.45939	2.04866
200.75	0	4	0.03868	1.44212	1.94686	5.56247	2.80842
200.75	0	6	0.03421	1.60191	2.16257	6.17878	3.37646
200.75	0	8	0.03136	1.71242	2.31176	6.60504	3.84741
200.75	0	10	0.02931	1.84919	2.49641	7.13259	4.25723
200.75	2	0	-	-	-	-	-
200.75	2	0.5	0.09307	0.92689	1.25131	3.57516	1.24391
200.75	2	1	0.08130	1.06348	1.43570	4.10201	1.66566
200.75	2	2	0.07096	1.12215	1.51491	4.32831	2.27898
200.75	2	4	0.06188	1.22657	1.65588	4.73107	3.21075
200.75	2	6	0.05708	1.26017	1.70123	4.86065	3.99442
200.75	2	8	0.05391	1.29374	1.74655	4.99013	4.59032
200.75	2	10	0.05155	1.34985	1.82230	5.20657	5.10035
200.75	4	0	-	-	-	-	-
200.75	4	0.5	0.11824	0.85047	1.14814	3.28040	1.28224
200.75	4	1	0.10297	1.03334	1.39501	3.98573	1.80807
200.75	4	2	0.08957	1.15031	1.55292	4.43692	2.50223
200.75	4	4	0.07780	1.22071	1.64795	4.70844	3.46336
200.75	4	6	0.07159	1.25319	1.69181	4.83374	4.18865
200.75	4	8	0.06746	1.28729	1.73784	4.96526	4.79307
200.75	4	10	0.06441	1.35482	1.82900	5.22573	5.32227
149.47	0	0	-	-	-	-	-
149.47	0	0.5	0.06082	0.91963	1.24150	3.54715	1.06057
149.47	0	1	0.04925	0.94493	1.27566	3.64475	1.45526
149.47	0	2	0.03991	1.22182	1.64945	4.71273	1.99517
149.47	0	4	0.03235	1.57138	2.12137	6.06104	2.73355
149.47	0	6	0.02862	1.73147	2.33748	6.67853	3.28551
149.47	0	8	0.02624	1.86053	2.51171	7.17633	3.74310
149.47	0	10	0.02453	1.99102	2.68788	7.67966	4.14127
149.47	2	0	-	-	-	-	-
149.47	2	0.5	0.08296	0.95585	1.29040	3.68687	1.18570
149.47	2	1	0.07242	1.11274	1.50219	4.29198	1.61638
149.47	2	2	0.06317	1.20820	1.63107	4.66020	2.26528
149.47	2	4	0.05505	1.28213	1.73087	4.94535	3.25512
149.47	2	6	0.05076	1.33083	1.79662	5.13321	3.93649
149.47	2	8	0.04791	1.34671	1.81806	5.19444	4.50479
149.47	2	10	0.04580	1.41496	1.91019	5.45770	5.00151
149.47	4	0	-	-	-	-	-
149.47	4	0.5	0.10512	0.85972	1.16062	3.31606	1.28262
149.47	4	1	0.09146	1.08026	1.45835	4.16670	1.77493

149.47	4	2	0.07946	1.24060	1.67481	4.78518	2.45665
149.47	4	4	0.06892	1.33706	1.80503	5.15722	3.39996
149.47	4	6	0.06335	1.38391	1.86828	5.33795	4.11259
149.47	4	8	0.05966	1.41669	1.91253	5.46438	4.70621
149.47	4	10	0.05692	1.47905	1.99671	5.70490	5.22672
100.62	0	0	-	-	-	-	-
100.62	0	0.5	0.04780	0.69611	0.93975	2.68500	1.02455
100.62	0	1	0.03874	0.82747	1.11708	3.19166	1.40452
100.62	0	2	0.03140	1.11212	1.50136	4.28961	1.92414
100.62	0	4	0.02547	1.43372	1.93552	5.53006	2.63458
100.62	0	6	0.02253	1.66566	2.24865	6.42470	3.16559
100.62	0	8	0.02066	1.81884	2.45544	7.01553	3.60578
100.62	0	10	0.01932	1.97148	2.66150	7.60428	3.98876
100.62	2	0	-	-	-	-	-
100.62	2	0.5	0.07103	0.91374	1.23355	3.52442	1.13965
100.62	2	1	0.06195	1.10042	1.48557	4.24448	1.60420
100.62	2	2	0.05398	1.22836	1.65828	4.73795	2.29466
100.62	2	4	0.04697	1.36065	1.83688	5.24822	3.17560
100.62	2	6	0.04328	1.39914	1.88884	5.39670	3.84033
100.62	2	8	0.04082	1.44055	1.94475	5.55642	4.39474
100.62	2	10	0.03900	1.49262	2.01504	5.75725	4.87932
100.62	4	0	-	-	-	-	-
100.62	4	0.5	0.08966	0.89107	1.20295	3.43700	1.25130
100.62	4	1	0.07788	1.15432	1.55834	4.45239	1.73151
100.62	4	2	0.06754	1.37367	1.85445	5.29844	2.39625
100.62	4	4	0.05845	1.52396	2.05735	5.87814	3.31619
100.62	4	6	0.05366	1.56212	2.10887	6.02534	4.01035
100.62	4	8	0.05048	1.60213	2.16288	6.17965	4.58931
100.62	4	10	0.04812	1.67853	2.26602	6.47434	5.09535
50.3	0	0	-	-	-	-	-
50.3	0	0.5	0.03140	1.06385	1.43620	4.10343	0.96205
50.3	0	1	0.02547	0.80122	1.08165	3.09042	1.31727
50.3	0	2	0.02066	0.97560	1.31706	3.76304	1.80285
50.3	0	4	0.01676	1.25968	1.70057	4.85877	2.46656
50.3	0	6	0.01484	1.44935	1.95663	5.59036	2.96255
50.3	0	8	0.01360	1.60613	2.16827	6.19506	3.37364
50.3	0	10	0.01272	1.72338	2.32656	6.64732	3.73130
50.3	2	0	-	-	-	-	-
50.3	2	0.5	0.05396	0.93935	1.26813	3.62322	1.14773
50.3	2	1	0.04694	1.17514	1.58644	4.53270	1.58993
50.3	2	2	0.04081	1.39045	1.87711	5.36316	2.19814
50.3	2	4	0.03539	1.53198	2.06818	5.90908	3.04552
50.3	2	6	0.03253	1.58197	2.13566	6.10188	3.68767
50.3	2	8	0.03063	1.68067	2.26890	6.48258	4.22134
50.3	2	10	0.02923	1.76692	2.38535	6.81528	4.68580

50.3	4	0	-	-	-	-	-
50.3	4	0.5	0.06753	0.92410	1.24753	3.56437	1.19811
50.3	4	1	0.05845	1.13126	1.52721	4.36344	1.65807
50.3	4	2	0.05047	1.49268	2.01511	5.75747	2.29463
50.3	4	4	0.04347	1.88929	2.55055	7.28727	3.17555
50.3	4	6	0.03977	2.02325	2.73139	7.80397	3.84027
50.3	4	8	0.03732	1.98356	2.67781	7.65088	4.39468
50.3	4	10	0.03550	2.10262	2.83854	8.11012	4.87926
24.42	0	0	-	-	-	-	-
24.42	0	0.5	0.02029	1.22956	1.65991	4.74261	0.89890
24.42	0	1	0.01647	0.63862	0.86214	2.46326	1.22980
24.42	0	2	0.01337	0.70000	0.94500	2.69999	1.68202
24.42	0	4	0.01085	0.90631	1.22352	3.49578	2.30000
24.42	0	6	0.00960	1.08398	1.46337	4.18106	2.76175
24.42	0	8	0.00881	1.19078	1.60756	4.59302	3.14444
24.42	0	10	0.00824	1.31159	1.77065	5.05900	3.47738
24.42	2	0	-	-	-	-	-
24.42	2	0.5	0.04033	0.97117	1.31108	3.74596	1.09665
24.42	2	1	0.03499	1.21660	1.64241	4.69259	1.51766
24.42	2	2	0.03030	1.52557	2.05953	5.88436	2.10031
24.42	2	4	0.02618	1.74572	2.35672	6.73349	2.90664
24.42	2	6	0.02401	1.86248	2.51435	7.18385	3.51507
24.42	2	8	0.02256	1.93708	2.61506	7.47161	4.02253
24.42	2	10	0.02149	2.02511	2.73390	7.81116	4.46607
24.42	4	0	-	-	-	-	-
24.42	4	0.5	0.04984	0.86433	1.16685	3.33384	1.14520
24.42	4	1	0.04291	1.11880	1.51037	4.31536	1.58486
24.42	4	2	0.03683	1.53565	2.07312	5.92320	2.19330
24.42	4	4	0.03149	2.13572	2.88322	8.23777	3.03533
24.42	4	6	0.02867	2.44005	3.29407	9.41163	3.67070
24.42	4	8	0.02680	2.58972	3.49612	9.98891	4.20062
24.42	4	10	0.02541	2.77061	3.74032	10.68663	4.66380

Tabla 7. Valores referentes a la reja E-25 con calado medio.

- MERIDIANA

Q (L/s)	Ix [%]	Iy [%]	Calado	Cd(L <sub>1+2+3</sub> )	Cd(L <sub>1+2</sub> )	Cd(L <sub>1</sub> )	Fr
200.75	0	0	-	-	-	-	-
200.75	0	0.5	0.04600	1.5638	1.9923	7.27190	2.16552
200.75	0	1	0.04300	1.4454	1.8414	6.72119	2.39606
200.75	0	2	0.04100	1.3767	1.7539	6.40173	2.57350
200.75	0	4	0.03200	1.7792	2.2666	8.27312	3.73229
200.75	0	6	0.02800	2.0477	2.6087	9.52190	4.55998
200.75	0	8	0.02600	2.1738	2.7694	10.10814	5.09612
200.75	0	10	0.02600	2.1212	2.7024	9.86379	5.09612
200.75	2	0	-	-	-	-	-
200.75	2	0.5	0.08792	0.8900	1.1519	4.13855	1.53270
200.75	2	1	0.07392	1.0688	1.3874	4.96976	2.32117
200.75	2	2	0.06692	1.0580	1.3761	4.91972	3.01167
200.75	2	4	0.05692	1.1347	1.4813	5.27614	4.69066
200.75	2	6	0.05292	1.1366	1.4867	5.28540	5.62790
200.75	2	8	0.04892	1.1611	1.5219	5.39902	6.84983
200.75	2	10	0.04692	1.2220	1.6038	5.68245	7.60328
200.75	4	0	-	-	-	-	-
200.75	4	0.5	0.11684	0.7525	0.9817	3.49902	1.55399
200.75	4	1	0.12184	0.7102	0.9257	3.30243	1.38930
200.75	4	2	0.09484	0.8976	1.1776	4.17361	2.61786
200.75	4	4	0.08184	0.9069	1.1955	4.21711	3.78453
200.75	4	6	0.07384	0.9275	1.2271	4.31268	4.89437
200.75	4	8	0.06884	0.9315	1.2359	4.33143	5.83209
200.75	4	10	0.06584	0.9510	1.2641	4.42194	6.51931
149.47	0	0	-	-	-	-	-
149.47	0	0.5	0.03800	1.6219	2.0662	7.54180	2.14745
149.47	0	1	0.03700	1.3416	1.7092	6.23856	2.23509
149.47	0	2	0.02800	1.7611	2.2436	8.18930	3.39517
149.47	0	4	0.02600	1.8700	2.3823	8.69540	3.79436
149.47	0	6	0.02300	2.1218	2.7031	9.86648	4.56044
149.47	0	8	0.02100	2.2971	2.9264	10.68132	5.22720
149.47	0	10	0.02000	2.4007	3.0584	11.16331	5.62410
149.47	2	0	-	-	-	-	-
149.47	2	0.5	0.07392	0.9976	1.2950	4.63882	1.72824
149.47	2	1	0.06392	1.1685	1.5213	5.43337	2.54633
149.47	2	2	0.05892	1.1002	1.4351	5.11592	3.20360
149.47	2	4	0.04892	1.2371	1.6216	5.75262	5.10010
149.47	2	6	0.04392	1.3243	1.7416	6.15816	6.67788
149.47	2	8	0.04092	1.3890	1.8309	6.45867	7.96995
149.47	2	10	0.04092	1.3705	1.8066	6.37302	7.96995
149.47	4	0	-	-	-	-	-
149.47	4	0.5	0.10284	0.8008	1.0482	3.72379	1.59191



149.47	4	1	0.10684	0.7700	1.0068	3.58039	1.44707
149.47	4	2	0.08384	0.9751	1.2843	4.53420	2.65275
149.47	4	4	0.07284	0.9769	1.2933	4.54276	3.77051
149.47	4	6	0.06684	0.9576	1.2721	4.45289	4.67448
149.47	4	8	0.06284	0.9641	1.2842	4.48286	5.45424
149.47	4	10	0.05984	1.0224	1.3650	4.75424	6.16376
100.62	0	0	-	-	-	-	-
100.62	0	0.5	0.03700	1.1053	1.4082	5.13977	1.50462
100.62	0	1	0.02800	1.3006	1.6569	6.04782	2.28555
100.62	0	2	0.02500	1.3988	1.7820	6.50440	2.70906
100.62	0	4	0.02000	1.7851	2.2742	8.30077	3.78603
100.62	0	6	0.01800	2.0016	2.5500	9.30766	4.43425
100.62	0	8	0.01700	2.1355	2.7206	9.93006	4.83120
100.62	0	10	0.01700	2.0952	2.6692	9.74259	4.83120
100.62	2	0	-	-	-	-	-
100.62	2	0.5	0.06292	1.0579	1.3778	4.91919	1.79283
100.62	2	1	0.05492	1.2418	1.6226	5.77433	2.57098
100.62	2	2	0.04992	1.1968	1.5678	5.56511	3.26391
100.62	2	4	0.04092	1.3890	1.8309	6.45867	5.36520
100.62	2	6	0.03692	1.5474	2.0474	7.19537	6.93858
100.62	2	8	0.03292	1.7317	2.3020	8.05244	9.24220
100.62	2	10	0.03092	1.8645	2.4854	8.66982	10.81001
100.62	4	0	-	-	-	-	-
100.62	4	0.5	0.08584	0.8550	1.1253	3.97598	1.68357
100.62	4	1	0.08984	0.8293	1.0898	3.85615	1.50238
100.62	4	2	0.07484	1.0168	1.3446	4.72807	2.37203
100.62	4	4	0.06784	0.9631	1.2786	4.47834	3.03208
100.62	4	6	0.05784	1.0645	1.4235	4.94984	4.51735
100.62	4	8	0.05284	1.1205	1.5055	5.21052	5.66302
100.62	4	10	0.05284	1.0852	1.4581	5.04639	5.66302
50.3	0	0	-	-	-	-	-
50.3	0	0.5	0.02200	1.2070	1.5377	5.61260	1.64051
50.3	0	1	0.01800	1.1428	1.4559	5.31409	2.21668
50.3	0	2	0.01500	1.3352	1.7010	6.20853	2.91390
50.3	0	4	0.01300	1.5349	1.9555	7.13748	3.61158
50.3	0	6	0.01200	1.6919	2.1554	7.86716	4.07231
50.3	0	8	0.01000	2.1115	2.6900	9.81856	5.35318
50.3	0	10	0.01000	2.0870	2.6588	9.70452	5.35318
50.3	2	0	-	-	-	-	-
50.3	2	0.5	0.05092	0.9268	1.2135	4.30967	1.55270
50.3	2	1	0.04592	1.1632	1.5276	5.40897	2.01050
50.3	2	2	0.03992	1.2868	1.6977	5.98377	2.85320
50.3	2	4	0.03092	1.6599	2.2127	7.71851	5.40393
50.3	2	6	0.02992	1.6515	2.2049	7.67960	5.86684
50.3	2	8	0.02592	1.9773	2.6594	9.19457	8.39887

50.3	2	10	0.02592	1.9276	2.5925	8.96336	8.39887
50.3	4	0	-	-	-	-	-
50.3	4	0.5	0.06284	0.9539	1.2706	4.43555	1.83547
50.3	4	1	0.06384	0.9378	1.2483	4.36058	1.76444
50.3	4	2	0.06184	0.9980	1.3304	4.64081	1.91058
50.3	4	4	0.05584	1.0675	1.4301	4.96384	2.46590
50.3	4	6	0.04684	1.2181	1.6480	5.66439	3.82645
50.3	4	8	0.04284	1.2947	1.7617	6.02046	4.78316
50.3	4	10	0.04184	1.3138	1.7905	6.10912	5.07410

Tabla 8. Valores referents a la reja Meridiana con calado en el borde exterior.

Q (L/s)	itrans. [%]	ilong. [%]	ym	Cd( $L_{1+2+3}$ )	Cd( $L_{1+2}$ )	Cd( $L_1$ )	Fr
200.75	0	0	-	-	-	-	-
200.75	0	0.5	0.04600	1.56385	1.99230	7.27190	2.16552
200.75	0	1	0.04300	1.44542	1.84142	6.72119	2.39606
200.75	0	2	0.04100	1.37672	1.75390	6.40173	2.57350
200.75	0	4	0.03200	1.77916	2.26661	8.27312	3.73229
200.75	0	6	0.02800	2.04772	2.60874	9.52190	4.55998
200.75	0	8	0.02600	2.17379	2.76935	10.10814	5.09612
200.75	0	10	0.02600	2.12125	2.70241	9.86379	5.09612
200.75	2	0	-	-	-	-	-
200.75	2	0.5	0.08492	0.93759	1.19446	4.35978	1.53270
200.75	2	1	0.07092	1.13729	1.44888	5.28842	2.32117
200.75	2	2	0.06392	1.13335	1.44386	5.27010	3.01167
200.75	2	4	0.05392	1.23065	1.56782	5.72254	4.69066
200.75	2	6	0.04992	1.24063	1.58053	5.76894	5.62790
200.75	2	8	0.04592	1.27670	1.62648	5.93666	6.84983
200.75	2	10	0.04392	1.34936	1.71904	6.27450	7.60328
200.75	4	0	-	-	-	-	-
200.75	4	0.5	0.11084	0.81440	1.03752	3.78695	1.55399
200.75	4	1	0.11584	0.76609	0.97597	3.56230	1.38930
200.75	4	2	0.08884	0.99000	1.26123	4.60348	2.61786
200.75	4	4	0.07584	1.01663	1.29516	4.72733	3.78453
200.75	4	6	0.06784	1.05318	1.34172	4.89729	4.89437
200.75	4	8	0.06284	1.06803	1.36065	4.96636	5.83209
200.75	4	10	0.05984	1.09751	1.39819	5.10340	6.51931
149.47	0	0	-	-	-	-	-
149.47	0	0.5	0.03800	1.62189	2.06625	7.54180	2.14745
149.47	0	1	0.03700	1.34163	1.70919	6.23856	2.23509
149.47	0	2	0.02800	1.76114	2.24364	8.18930	3.39517
149.47	0	4	0.02600	1.86998	2.38230	8.69540	3.79436
149.47	0	6	0.02300	2.12182	2.70315	9.86648	4.56044
149.47	0	8	0.02100	2.29706	2.92639	10.68132	5.22720
149.47	0	10	0.02000	2.40071	3.05844	11.16331	5.62410
149.47	2	0	-	-	-	-	-
149.47	2	0.5	0.07092	1.06156	1.35240	4.93625	1.72824
149.47	2	1	0.06092	1.25583	1.59990	5.83962	2.54633
149.47	2	2	0.05592	1.18991	1.51591	5.53309	3.20360
149.47	2	4	0.04592	1.36032	1.73300	6.32546	5.10010
149.47	2	6	0.04092	1.47261	1.87607	6.84765	6.67788
149.47	2	8	0.03792	1.55701	1.98359	7.24009	7.96995
149.47	2	10	0.03792	1.53636	1.95728	7.14408	7.96995
149.47	4	0	-	-	-	-	-
149.47	4	0.5	0.09684	0.87638	1.11649	4.07517	1.59191
149.47	4	1	0.10084	0.83971	1.06977	3.90465	1.44707
149.47	4	2	0.07784	1.08998	1.38861	5.06842	2.65275

149.47	4	4	0.06684	1.11139	1.41588	5.16797	3.77051
149.47	4	6	0.06084	1.10271	1.40482	5.12758	4.67448
149.47	4	8	0.05684	1.12066	1.42769	5.21109	5.45424
149.47	4	10	0.05384	1.19800	1.52622	5.57071	6.16376
100.62	0	0	-	-	-	-	-
100.62	0	0.5	0.03700	1.10533	1.40816	5.13977	1.50462
100.62	0	1	0.02800	1.30061	1.65694	6.04782	2.28555
100.62	0	2	0.02500	1.39880	1.78203	6.50440	2.70906
100.62	0	4	0.02000	1.78511	2.27418	8.30077	3.78603
100.62	0	6	0.01800	2.00165	2.55004	9.30766	4.43425
100.62	0	8	0.01700	2.13550	2.72056	9.93006	4.83120
100.62	0	10	0.01700	2.09518	2.66920	9.74259	4.83120
100.62	2	0	-	-	-	-	-
100.62	2	0.5	0.05992	1.13833	1.45019	5.29321	1.79283
100.62	2	1	0.05192	1.35096	1.72108	6.28196	2.57098
100.62	2	2	0.04692	1.31340	1.67323	6.10729	3.26391
100.62	2	4	0.03792	1.55701	1.98359	7.24009	5.36520
100.62	2	6	0.03392	1.75715	2.23856	8.17074	6.93858
100.62	2	8	0.02992	1.99858	2.54614	9.29340	9.24220
100.62	2	10	0.02792	2.17292	2.76824	10.10406	10.81001
100.62	4	0	-	-	-	-	-
100.62	4	0.5	0.07984	0.95322	1.21438	4.43249	1.68357
100.62	4	1	0.08384	0.91987	1.17189	4.27742	1.50238
100.62	4	2	0.06884	1.15258	1.46835	5.35949	2.37203
100.62	4	4	0.06184	1.10660	1.40977	5.14567	3.03208
100.62	4	6	0.05184	1.25454	1.59824	5.83359	4.51735
100.62	4	8	0.04684	1.34260	1.71044	6.24310	5.66302
100.62	4	10	0.04684	1.30031	1.65656	6.04644	5.66302
50.3	0	0	-	-	-	-	-
50.3	0	0.5	0.02200	1.20701	1.53770	5.61260	1.64051
50.3	0	1	0.01800	1.14282	1.45592	5.31409	2.21668
50.3	0	2	0.01500	1.33517	1.70097	6.20853	2.91390
50.3	0	4	0.01300	1.53494	1.95547	7.13748	3.61158
50.3	0	6	0.01200	1.69186	2.15539	7.86716	4.07231
50.3	0	8	0.01000	2.11152	2.69002	9.81856	5.35318
50.3	0	10	0.01000	2.08699	2.65877	9.70452	5.35318
50.3	2	0	-	-	-	-	-
50.3	2	0.5	0.04792	1.01519	1.29333	4.72065	1.55270
50.3	2	1	0.04292	1.28728	1.63997	5.98587	2.01050
50.3	2	2	0.03692	1.44682	1.84321	6.72772	2.85320
50.3	2	4	0.02792	1.93449	2.46449	8.99538	5.40393
50.3	2	6	0.02692	1.93515	2.46533	8.99847	5.86684
50.3	2	8	0.02292	2.37798	3.02949	11.05762	8.39887
50.3	2	10	0.02292	2.31819	2.95331	10.77957	8.39887
50.3	4	0	-	-	-	-	-

50.3	4	0.5	0.05684	1.10884	1.41263	5.15609	1.83547
50.3	4	1	0.05784	1.08740	1.38531	5.05640	1.76444
50.3	4	2	0.05584	1.16313	1.48179	5.40854	1.91058
50.3	4	4	0.04984	1.26595	1.61278	5.88665	2.46590
50.3	4	6	0.04084	1.49622	1.90615	6.95745	3.82645
50.3	4	8	0.03684	1.62357	2.06838	7.54960	4.78316
50.3	4	10	0.03584	1.65715	2.11116	7.70574	5.07410

Tabla 9. Valores referentes a la reja Meridiana con calado medio.